

**UNIVERSIDAD AUTÓNOMA AGRARIA  
ANTONIO NARRO**

**DIVISIÓN DE AGRONOMÍA**

**DEPARTAMENTO FORESTAL**



**ANÁLISIS DE CAMBIOS DEL SUBSISTEMA NATURAL Y SOCIAL Y  
DE LA MORFOLOGIA EN LAS MICROCUENCAS HIDROLÓGICAS QUE  
IMPACTAN LA CIUDAD DE SALTILLO COAHUILA**

**POR:**

**ALICIA YESCAS ANTONIO**

**TESIS**

**Presentada como requisito Parcial para Obtener el Título de:**

**INGENIERO FORESTAL**

**Buenavista, Saltillo, Coahuila, México  
Mayo del 2006**

TESIS ELABORADA BAJO LA SUPERVISION DEL COMITÉ PARTICULAR DE  
ASESORIA Y APROBADA COMO REQUISITO PARCIAL, PARA OBTENER EL

TITULO DE:

INGENIERO FORESTAL

Asesor Principal

Asesor

---

---

M.C. Melchor García Valdez  
Javalera

Dra. Iliana Isabel Hernández

Asesor

Asesor

---

---

M. C. Luis Pérez Romero  
Castro

M. C. José Armando Najera

COORDINADOR DE LA DIVISIÓN DE AGRONOMIA

---

M.C. Arnoldo Oyervides García

Buenavista, Saltillo, Coahuila, México  
Mayo 2006

## **DEDICATORIA**

### **A DIOS**

Por concederme la vida, por guiar mis pasos, por permitir culminar mis estudios y gracias por la hermosa familia que me brindaste.

### **CON AMOR Y RESPETO A MIS PADRES**

**Sra. Alicia Antonio García y Sr. Cirilo Yescas Agustín**

Por su apoyo comprensión e inmenso amor y a quienes debo lo que soy y he logrado, quienes me han enseñado el camino del bien y han creído en mí, por guiarme en la vida, por apoyarme para alcanzar una mas de mis metas gracias.

### **A MI ABUELITO (†)**

**Sr. Silverio Antonio Ángeles** por brindarme su amor, enseñarme valores de la vida porque me dejo compartir parte de su maravillosa vida y por ser un ángel que sigue a mi lado hoy culmino una meta que te dedico donde quieras que te encuentres.

### **CON CARIÑO A MIS HERMANOS**

**Brígida, Lilia, Juan Gabriel, María Araceli, Cristina y José Hilario Yescas Antonio** porque me han enseñado a valorar las cosas de la vida por todo el amor que me han brindado por la hermosa familia que somos y porque a pesar de los obstáculos de la vida somos inseparables a ustedes gracias por confiar y creer en mí. Porque me enseñaron que con esfuerzo y dedicación se logran las metas que se proyectan en la vida

## AGRADECIMIENTO

A mi “**ALMA MATER**” la Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro, por brindarme la oportunidad de realizar mi formación profesional.

Mi más sincero agradecimiento al M.C. Melchor García Valdez por haberme apoyado incondicionalmente en la realización de este trabajo, así como sus consejos, sugerencias y confianza para la culminación de este estudio.

A la Dra. Ileana Isabel Hernández Javalera por su apoyo en la revisión, sugerencias y recomendaciones para la culminación de este estudio, por confiar en mí para la realización de este estudio, por su sincera amistad y por ser una gran amiga y confidente.

Al Ing. Luis Pérez Romero por su apoyo en la revisión, sugerencias y recomendaciones para la culminación de este estudio.

Al Ing. José Armando Najera Casto por su amistad apoyo en la revisión, sugerencias y recomendaciones para la culminación de este estudio.

A la M.C. Silvia Xiomara Gonzáles Aldaco por el interés, apoyo en la labor de la realización de este estudio y por su amistad.

Sr. Rosalva Agustín Molina por su apoyo incondicional, y por darme ánimos de superación y por creer en mi, Gracias.

Ing. Ángel Ibáñez López por confiar y creer en mí por su apoyo incondicional que siempre me brindo por ser un gran ejemplo a seguir y a superar gracias por todo y sigamos adelante.

A mis amigos: Adair Figueroa Salazar, Ángel Alberto Domínguez Ramírez, Darinel Torres Hernández, Paulino Hernández Sánchez y Silas Figueroa Velásquez, gracias por compartir parte de su tiempo, por brindarme cariño, comprensión, por estar con migo cuado mas los necesite y por las aventuras en esta etapa de nuestra vida les deseo que su vida sea de dicha y felicidad.

Al Sr. Romeo Avendaño Bautista su esposa la Sra. Catalina Apolinar Ramírez por su confianza y apoyo incondicional que siempre me brindaron para culminar mis estudios.

## ÍNDICE GENERAL

	Página
ÍNDICE DE CUADROS	viii
ÍNDICE DE FIGURAS	ix
INTRODUCCIÓN.....	1
Objetivo general.....	2
Objetivos específicos.....	2
Hipótesis.....	3
REVISIÓN DE LITERATURA.....	4
Cuenca hidrológica.....	4
Definiciones.....	4
Manejo de cuencas Hidrológicas.....	5
Escurrimientos superficiales.....	5
Partes de la cuenca Hidrológica .....	6
Tipos de cuencas hidrológicas.....	6
Morfologías de las cuencas.....	7
Parámetros de forma.....	8
Parámetros de la red de drenaje.....	11
Parámetros de relieve.....	13
Funciones de la cuenca.....	16
Función Hidrológica.....	16
Función ecológica.....	16
Función Ambiental.....	16
Función socioeconómica.....	17
Áreas urbanas.....	17
Uso de suelo.....	17
Estudios Relacionados.....	18
Base de datos .....	22
Serie I (INEGI 1968 - 1986).....	22
Serie II (INEGI 1993 - 1996).....	22
Sistemas de Información Geográfica.....	23
MATERIALES Y MÉTODOS.....	24
Descripción del área de estudio.....	24
Ubicación.....	24
Clima.....	24
Geología.....	26
Orografía.....	26
Hidrología superficial.....	26
Suelos.....	27
Uso de suelo y Vegetación.....	27
Metodología.....	30
Delimitación de microcuencas.....	30
Digitalización.....	30
Indicador del subsistema natural.....	31

Indicadores del subsistema social y urbano.....	32
Características morfológicas de las cuencas.....	34
Análisis multivariado.....	41
Productos obtenidos.....	42
RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....	43
CONCLUSIONES.....	92
RECOMENDACIONES.....	94
RESUMEN.....	95
LITERATURA CITADA.....	96

## ÍNDICE DE CUADROS

Cuadro		página
1.	Clasificación por rangos de pendiente y tipo de terreno.....	40
2.	Clasificación de las cuencas hidrológicas.....	41
3.	Porcentaje de la tasa de cambio de área de uso de suelo urbano (USU) de las microcuencas.....	43
4.	Red de drenaje de la microcuenca El Mulato.....	46
5.	Red de drenaje de la microcuenca Palma Gorda Baja.....	49
6.	Red de drenaje de la microcuenca Arroyo Saltillo 2.....	52
7.	Red de drenaje de la microcuenca Arroyo Saltillo 1.....	55
8.	Red de drenaje de la microcuenca Agua de las Mulas.....	58
9.	Red de drenaje de la microcuenca Cañón las Terneras.....	61
10.	Red de drenaje de la microcuenca Cañón Salsipuedes.....	64
11.	Red de drenaje de la microcuenca C. Espinazo del Diablo.....	67
12.	Red de drenaje de la microcuenca Cañón San Lorenzo.....	70
13.	Red de drenaje de la microcuenca San José del Álamo.....	73
14.	Red de drenaje de la microcuenca Arroyo el Pueblo.....	76
15.	Red de drenaje de la microcuenca Cañada el Cuatro.....	79
16.	Red de drenaje de la microcuenca Cañada Boca de León.....	82
17.	Porcentaje de la varianza total por Factor.....	85
18.	Coefficiente de correlación de las variables con los factores....	86
19.	Información general del área de estudio.....	89
20.	Escurrimiento medio anual del uso de suelo urbano.....	91



## ÍNDICE DE FIGURA

Figura		Página
1.	Mapa de ubicación del área de estudio, dentro del estado de Coahuila.....	25
2.	Mapa de unidades de suelo del área de estudio.....	28
3.	Mapa de la vegetación del área de estudio.....	29
4.	Población total para 1970 y 2000.....	44
5.	Densidad de población.....	45
6.	Microcuenca el Mulato.....	47
7.	Curva hipsométrica de la microcuenca el Mulato.....	48
8.	Microcuenca Palma Gorda Baja.....	50
9.	Curva hipsométrica de la microcuenca Palma Gorda Baja.....	51
10.	Microcuenca Arroyo Saltillo 2 .....	53
11.	Curva hipsométrica de la microcuenca Arroyo Saltillo 2.....	54
12.	Microcuenca Arroyo Saltillo 1.....	56
13.	Curva hipsométrica de la microcuenca Arroyo Saltillo 1.....	57
14.	Microcuenca Agua de las Mulas.....	59
15.	Curva hipsométrica de la microcuenca Agua de las Mulas.....	60
16.	Microcuenca Cañón las Terneras.....	62
17.	Curva hipsométrica de la microcuenca Cañón las Terneras.....	63
18.	Microcuenca Cañón Salsipuedes.....	65
29.	Curva hipsométrica de la microcuenca Cañón Salsipuedes.....	66
20.	Microcuenca C. Espinazo del Diablo.....	68
21.	Curva hipsométrica de la microcuenca C. Espinazo del Diablo.....	69
22.	Microcuenca Cañón San Lorenzo.....	71
23.	Curva hipsométrica de la microcuenca Cañón San Lorenzo.....	72
24.	Microcuenca San José del Álamo.....	74
25.	Curva hipsométrica de la microcuenca San José del Álamo.....	75
26.	Microcuenca Arroyo el Pueblo.....	77
27.	Curva hipsométrica de la microcuenca Arroyo el Pueblo.....	78
28.	Microcuenca Cañada el Cuatro.....	80
29.	Curva hipsométrica de la microcuenca Cañada el Cuatro.....	81
30.	Microcuenca Cañada Boca de León.....	83
31.	Curva hipsométrica de la microcuenca Cañada Boca de León.....	84
32.	Factor 1 contra factor 2.....	86
33.	Factor 1 contra factor 3.....	87
34.	Factor 2 contra factor 3.....	88
35.	Microcuenca del Área de Estudio.....	90

## INTRODUCCIÓN

La transformación ambiental de una cuenca a través de diferentes impactos especialmente los antropogénicos, como la urbanización es un hecho dinámico por lo que se hace indispensable conocer su velocidad de transformación y su tendencia, esto para entender los posibles cambios que se han dado con la intención de dar pautas a tomar medidas de recuperación, mitigación, mejoramiento u otras.

La urbanización de los ambientes naturales produce intensas alteraciones en el medio generando impactos significativos en la morfología de las cuencas, así como en la cantidad y calidad del agua que escurre sobre ellas, por lo que el escurrimiento pluvial urbano se rige por procesos naturales del ciclo hidrológico: precipitación; intercepción por parte de la vegetación, infiltración y almacenamiento subterráneo por escurrimiento superficial.

La urbanización de un área provoca la transformación de uso de suelo, modificando ó anulando la vegetación y afecta la permeabilidad del suelo, esto causa que se impermeabilicen grandes áreas disminuyendo la infiltración y alterando el flujo hacia los acuíferos subterráneos. Se sustituyen los cauces naturales de drenaje por canales y conductos impermeables, por otra parte las depresiones naturales que funcionaban como retardadores del flujo son rellenadas, para poder construir sobre ellas. Estos factores disminuyen las pérdidas por infiltración, transpiración y detención, provocando un aumento del volumen total de escurrimiento superficial y de la frecuencia con que se producen inundaciones urbanas. Por la menor resistencia al flujo se incrementa el caudal y disminuye el tiempo de concentración, y como consecuencia las velocidades de escurrimiento aumentan. Esto se convierte en una mayor

capacidad de erosión y de arrastre de contaminantes durante una avenida. Este impacto es fuertemente observado donde las lluvias son torrenciales y erráticas como es en las zonas Áridas y Semiáridas.

Lo que hace importante realizar estudios morfológicos de las cuencas y de sus áreas urbanizadas que proporcionen información de los impactos que han sufrido en un lapso de tiempo para así considerarlo en un plan de desarrollo urbano.

El análisis de cambio del uso del suelo y del estudio morfológico de las microcuencas que impactan la Ciudad de Saltillo puede ser de gran utilidad en la toma de decisiones ya que permite conocer las modificaciones que se han causado debido a la urbanización. Por todo lo anterior, se plantean los siguientes objetivos e hipótesis:

## **Objetivos**

### General

Analizar los cambios del subsistema natural y del subsistema social y urbano, así como, de las características morfológicas en 25 años de 13 microcuencas hidrológicas que impactan la Ciudad de Saltillo.

### Específicos

- Obtención del índice de la tasa de deforestación como indicador del subsistema natural para cada microcuenca.

- Obtención del índice de la tasa de crecimiento medio anual de la población y de la densidad de población como indicador del subsistema social y urbano del municipio de Saltillo.
- Análisis de las Características morfológicas de cada microcuenca.
- Análisis multivariado de las dos series del área de estudio utilizando las variables área de la cuenca ( $A_c$ ), uso del suelo urbano (USU), densidad de drenaje (Dd), longitud total de cauce (L), frecuencia de cauce (Fc), y elevación media de la cuenca (msnm).
- Elaboración de mapas de cambios de uso de suelo urbano y características morfológicas de cada microcuenca.

## **Hipótesis**

Las microcuencas que impactan la ciudad de Saltillo, presentan cambios en el uso de suelo y características morfológicas en los últimos 25 años.

## REVISIÓN DE LITERATURA

### Cuencas Hidrológicas

#### Definiciones

Es la totalidad del área de una corriente o sistemas interconectados de cauces, tales que todo el escurrimiento originado en tal área es descargado a través de una salida única (Linsley *et al.*, 1949).

Springall (1970), considera que una cuenca, es un área que favorece al escurrimiento y que provee parte o todo el flujo de la corriente principal y sus tributarios.

Por lo tanto, una cuenca se define como un segmento de la superficie terrestre, por límites físicos ó también llamados parteaguas, en las cuales interactúan organismos vivos con los componentes no vivos (Parra, 1998).

Maderey (1970), la considera como la unidad fundamental de la naturaleza, la cual se forma con las descargas de lluvia que llegan directamente a las montañas conectando los escurrimientos a las plantas y de ahí a los ríos lagos, arroyos, océanos, entre otros, es fundamental para cualquier actividad y subsistencia de todo ser viviente. Constituye la unidad geográfica en la que ocurren las fases del ciclo hidrológico y por consiguiente es la unidad básica de gestión de agua, que se delimita superficialmente por parteaguas, que abarcan la cuenca hidrológica.

## Manejo de Cuencas Hidrológicas

El manejo de cuencas hidrológicas incluye la manipulación del suelo y de la vegetación de un área en particular para reducir la erosión, mejorar la calidad del agua, estabilizar descargas, incrementar el suplemento del agua, controlar la infiltración, escurrimiento, contaminación y erosión. Debe ser de hecho en respuesta a las oportunidades y a los retos de protección, rehabilitación y mejoramiento de los objetivos del manejo de cuencas, de las libertades individuales y de las metas de los individuos a las cuales pertenecen los recursos y quienes, en última instancia, son los que lo manejan (Black, 1996).

Así mismo lleva a realizar una serie de prácticas tales como conservación del tipo de vegetación, construcción de pequeñas presas, cosecha de agua, control de apacentamiento, recreación, agricultura, uso urbano, uso forestal, manejo de áreas riparias, entre otras (Holechek *et al.*, 2003).

## Escurrecimientos Superficiales

Estos escurrimientos son parte del agua de lluvia proveniente de la precipitación que circula por los cauces, ya sea subterránea ó superficial y que llega a una corriente para finalmente ser drenada hasta la salida de la cuenca (Aparicio, 1994).

Según Becerra (1999), los escurrimientos superficiales, son una parte de la lluvia que llega a la superficie terrestre y fluye a los terrenos con pendiente hacia los ríos, lagunas y océanos. Los escurrimientos superficiales se forman por el flujo sobre el terreno y las corrientes en los cauces. Los patrones de drenaje, son una característica importante de cualquier cuenca hidrológica que se dan por su naturaleza, efectos del clima y geología de la cuenca, que se

relacionan para originar ciertos patrones de la erosión, y que conforman la red de drenaje.

### Partes de la cuenca Hidrológica

Al expresarnos de las cuencas hidrológicas nos referimos a las partes por las cuales esta compuesta: parte alta, parte media y parte baja. En la parte alta abundan los afloramientos rocosos, materiales leñosos y sedimentos más gruesos, con pendientes pronunciadas en las laderas; la anchura del cauce es pequeña, los árboles de los lados dan sombra a la mayor parte del cauce. En la parte media, el ancho del cauce tiende a ser mayor que en la parte alta, sin embargo puede presentarse lo contrario, si el cauce presenta un marcado disturbio.

En la parte baja de la cuenca los cauces tienden a ser todavía más anchos que las partes altas y media de la cuenca; el fondo del cauce presenta sedimentos más finos, que se depositan o transportan más fácilmente; las áreas riparias en esta parte de la cuenca generalmente se ven impactadas por el uso urbano agrícola y ganadera (González *et al.*, 1998; Leopold, 1994).

### Tipos de cuencas hidrológicas

Schumm (1977), por el destino de los escurrimientos se clasifican en:

#### Cuencas arréicas

No vierten sus aguas a los embalses internos ni al mar, los escurrimientos se pierden en los cauces por evaporación o infiltración sin convertirse en corrientes subterráneas. No existe una red permeable.

### Cuencas criptorréicas

Los escurrimientos se infiltran y corren como ríos subterráneos, careciendo de una red fluvial permanente y organizada.

### Cuencas endorréicas o lacustre

El área de captación de la cuenca forma un medio de corrientes que desemboca en una represa o lago interior sin llegar al mar.

### Cuencas exorréica

El sistema de drenaje llega al mar por vía superficial o subterránea.

### Tipos de corrientes

Comúnmente se clasifican en tres tipos: perennes, intermitentes y efímeras, con base en persistencia de su escurrimiento o flujo. Las corrientes perennes conducen agua todo el tiempo, excepto en algunas ocasiones durante las sequías extremas. Las corrientes intermitentes llevan agua la mayor parte del tiempo pero principalmente en época de lluvias o inmediatamente después de ésta, mientras que las corrientes efímeras responden a sólo a eventos de lluvia (Leopold, 1994).

### **Morfología de las cuencas**

Los parámetros de una cuenca integran un conjunto de estimaciones realizadas, en la mayoría de los casos, al iniciar un estudio hidrológico, con fines de aprovechamiento o control; sobre todo cuando la cuenca en estudio no cuenta con información hidrométrica y habrá que aplicar ciertos métodos y criterios, para llevar a cabo las determinaciones hidrológicas básicas, como son: régimen de escurrimientos líquidos y sólidos y sus avenidas normales y máximas.



Según Maderey (1964), la morfología de la cuenca que da definida por tres tipos diferentes de parámetros citados por el IMTA, 2001:

#### Parámetros de forma

La forma de una cuenca interviene sobre los escurrimientos y sobre la marcha del hidrograma resultante de una precipitación dada. Así, en una cuenca de forma alargada el agua discurre en general por un solo cauce principal, mientras que en otra de forma ovalada los escurrimientos recorren cauces secundarios hasta llegar a uno principal, por lo que la duración del escurrimiento es superior (Llamas, 1993).

#### Área de la cuenca $A_c$

Es el área plana en proyección horizontal, encerrada por su divisoria o parteaguas. Esté área se reporta en kilómetros cuadrados, excepto en cuencas pequeñas las cuales se expresan en hectáreas.

Las investigaciones hidrológicas han puesto de manifiesto que existe una diferencia significativa entre una cuenca pequeña y una grande. En una cuenca pequeña la cantidad y distribución del escurrimiento son influenciadas principalmente por las condiciones físicas del suelo y cobertura, sobre las cuales el hombre tiene algún control ó manejo. En cambio para grandes cuencas el efecto del almacenamiento en el cauce llega a ser pronunciado y habrá que darle más atención a la hidrología de la corriente principal (Chow, 1962).

#### Perímetro de la cuenca. $P_c$

Es la medición o calculo lineal del parteaguas de la cuenca y se expresa en Km.

### Longitud de la cuenca $L_c$

Es la longitud medida desde la salida de la cuenca hasta el límite de la divisoria paralela o parteaguas al cause principal, a lo largo de una línea recta, se expresa en Km.

### Índice de forma

La forma de la cuenca definitivamente afecta las características de la descarga de la corriente principalmente en los eventos de flujo máximo. En general, los escurrimientos de una cuenca de forma casi circular serán diferentes a los de otra, estrecha y alargada, de la misma área (Strahler, 1994).

Horton (1932), sugirió un factor adimensional de forma  $R_f$  como índice de forma de una cuenca. Este índice o su recíproco han sido usados extensamente como indicadores de la forma del hidrograma unitario. El valor resultante solo da una idea, de qué tan cerca o lejos se ésta de la formar del círculo, cuyo valor  $R_f = 0.79 (\pi/4)$ .

### Coeficiente de compacidad, $C_c$

Wisler and Brater (1959), mencionan que Gravelius definió el llamado coeficiente de compacidad ( $C_c$ ) como el cociente adimensional entre el perímetro de la cuenca ( $P$ ) y el perímetro de un círculo ( $P_c$ ) con área igual al tamaño ( $A_c$ ) de la cuenca en  $\text{km}^2$ .

Según López (1994), es el índice permitido generalmente para representar la relación del perímetro y área de una cuenca, donde se confronta la relación entre el perímetro de la cuenca y el de un círculo que tuviera la misma superficie.

Este coeficiente será siempre mayor que la unidad, pudiendo alcanzar valores mayores que 2 en cuencas muy alargadas.

Según este índice, las cuencas se definen como:

Cuencas redondas	$C_c = 1.0 - 1.25$
Cuencas ovaladas	$C_c = 1.25 - 1.50$
Cuencas oblongas	$C_c = 1.50 - 1.75$

### Relación de elongación, $R_e$

Ward (1975), menciona que Schumm propuso la denominada relación de elongación ( $R_e$ ), definida como el cociente adimensional entre el diámetro ( $D$ ) de un círculo de la misma área de la cuenca ( $A_c$ ) y la misma longitud de la cuenca ( $L_c$ ).

## Parámetros de la red de drenaje

### Patrón de drenaje

El patrón o red de drenaje es el sistema de cauces o corrientes por el que fluyen los escurrimientos superficiales de manera temporal o permanente. Su importancia se manifiesta por sus efectos en la formación y rapidez de drenado de los escurrimientos normales o extraordinarios además de proporcionar síntomas sobre las condiciones físicas del suelo y de la superficie de la cuenca. Entre los patrones más comunes se puede encontrar el paralelo, dendrítico, enrejado, angular, contorneado, entre otros (Deagostini, 1978).

### Número de orden de cauce y colector principal

El orden de cauce es una clasificación que refleja el grado de ramificación o bifurcación dentro de una cuenca (Linsley *et al.*, 1977).

Horton (1945), sugirió la clasificación de cauces de acuerdo al número de orden de un río como una medida de la ramificación del cauce principal de una cuenca hidrográfica. Un río de primer orden es un tributario pequeño sin ramificaciones. Un río de segundo orden posee únicamente ramificaciones de primer orden. Un río de tercer orden es uno que posee ramificaciones de primero y segundo orden. Un río de cuarto orden es uno que tiene ramificaciones de primer orden, segundo y tercer orden, y así sucesivamente. El orden de una cuenca hidrográfica está dado por el número de orden del cauce principal.

Entonces el orden de la corriente o colector principal será un indicador de la magnitud de la ramificación y de la extensión de la red dentro de la cuenca. Al respecto la determinación del cauce principal, se lleva acabo del punto de salida de la cuenca hacia aguas arriba, siguiendo a la corriente de más alto

orden, hasta alcanzar una bifurcación de dos corrientes de igual orden, entonces, la rama o cauce que tenga una mayor área de cuenca es seleccionado; a partir de tal punto el proceso se repite hasta terminar un tributario de orden uno.

#### Relación de bifurcación $R_b$

Horton (1945), utilizó éste concepto para definir en cociente entre el número de cauces de cualquier orden ( $N_u$ ) y el número de cauce de orden ( $u$ ) del siguiente orden superior.

Las relaciones de bifurcación varía de 3.0 a 5.0 para cuencas en las estructuras geológicas no distorsionan el modelo de drenaje. En condiciones naturales y en general, el valor promedio de 3.5 Horton (1945), menciona que Coates encontró que la  $R_b$  de corrientes de primero a segundo orden varía de 4.0 a 5.1 y de las de segundo a tercer orden varía de 2.8 a 4.9.

#### Longitud de cauces

Es la medición lineal de la longitud total de cauces ( $L$ ) expresada en Km. Para en caso colector principal se considera desde la salida de la cuenca hasta su cabecera principal el resto se mide desde la cabecera hasta su descarga. El resultado de éste valor se utiliza para definir la densidad de drenaje en una cuenca hidrológica.

### Densidad de drenaje ( $D_d$ )

Strahler (1964), define la densidad de drenaje como la longitud total de los cauces ( $L$ ) dentro de la cuenca, dividida entre el área total de drenaje ( $A_c$ ).

Por lo común se encuentran bajas densidades de drenaje en regiones de rocas resistentes o de suelos muy permeables con vegetación densa y donde el relieve es débil. En cambio, se obtienen altas densidades de drenaje en áreas de rocas débiles o de suelos impermeables, vegetación escasa y relieve montañosos (Strahler, 1964).

### Frecuencia de cauces ( $F_c$ )

La frecuencia de cauces se define mediante la relación del número total de cauces ( $N_u$ ), independientemente del número de orden de cauce ( $u$ ), entre el área de la cuenca ( $A_c$ ).

Parámetros de relieve

### Pendiente media de la cuenca

Tiene una importante pero compleja relación con la infiltración, el escurrimiento superficial, la humedad del suelo y la contribución del agua subterránea al flujo en los cauces. Es uno de los factores físicos que controlan el tiempo del flujo superficial y tiene influencia directa en la magnitud de las avenidas o inundaciones.

### Pendiente y perfil del cauce principal

La pendiente del colector principal se relaciona con las características hidráulicas del escurrimiento, en particular con la velocidad de propagación de ondas de avenida y con la capacidad para el transporte de sedimentos (Klohn, 1970).

Otra de las propiedades de la cuenca es la pendiente; las cuencas de mayores pendientes tienen una escorrentía más veloz y sus hidrogramas, por tanto, tienden a responder más rápidamente a la precipitación, incrementando los caudales punta (Sherman, 1932; Horton, 1945; Strahler, 1964). Las cuencas más alargadas tienden a una respuesta más difusa, en comparación con las respuestas de tormentas de caudales altos en cuencas compactas.

Esto se debe a que la escorrentía que drena todos los límites de una cuenca compacta tiene distancias similares de trayecto desde todos los cuadrantes y llega al colector principal al mismo tiempo, mientras que en cuencas de forma alargada al agua le cuesta bastante más circular desde la parte alta de la cuenca hasta el final. Así pues, la forma de la cuenca y el modelo de red de drenaje se combinan para influenciar en el tamaño y forma de los picos de crecida a la salida de la cuenca (Ward y Robinson, 2000).

### Elevación media de la cuenca

La altura media de la cuenca tiene influencia fundamental en el régimen hidrológico, puesto que la tiene sobre las precipitaciones que alimenta al ciclo hidrológico de la cuenca (Klohn, 1970).

A partir de la Curva Hipsométrica se puede determinar fácilmente la denominada elevación mediana de la cuenca (Linsley *et al.*, 1949), la cual equivale a la cota correspondiente al 50 % del área de la cuenca. Es frecuente definir el relieve de una cuenca por medio de ésta curva, la cual representa gráficamente las elevaciones del terreno en función de las superficies correspondientes (López y Blanco, 1976).

Las curvas hipsométricas reflejan características del ciclo erosivo y del tipo de cuenca.

### Pendiente y perfil del cauce principal

La pendiente del colector principal se relaciona con las características hidráulicas del escurrimiento, en particular con la velocidad de propagación de las ondas de avenidas y con la capacidad para el transporte de sedimentos (Klohn, 1970).



## Funciones de la cuenca

La descripción de las unidades de integración de las cuencas puede ser en base a su función.

Gómez (1999), define cuatro funciones principales de la cuenca hidrológica:

### Función Hidrológica

- Captación de agua de las diversas fuentes de precipitación para formar el escurrimiento de manantiales, ríos y arroyos.
- Almacenamiento de agua en sus diferentes formas y lapsos de duración
- Descarga de agua como escurrimiento

### Función Ecológica

- Provee diversidad de sitios y rutas a lo largo de la cual se llevan a cabo interacciones entre las características de calidad física y química del agua
- Provee de hábitat para la flora y fauna que constituyen los elementos biológicos del ecosistema y tienen interacciones entre las características físicas y biológicas del agua.

### Función Ambiental

- Constituyen sumideros de CO<sub>2</sub>
- Alberga bancos de germoplasma.
- Regula la recarga hídrica y los ciclos biogeoquímicos.
- Conserva la biodiversidad
- Mantiene la integridad y la diversidad de los suelos.

## Función Socioeconómica

- Abastece los recursos naturales para el desarrollo de actividades productivas que dan sustento a la población.
- Provee los espacios para el desarrollo social y cultural de la sociedad.

## Áreas urbanas

El término de áreas urbanas se usa generalmente como un sinónimo de ciudad, pero no son lo mismo. Todas las ciudades son áreas urbanas, pero no todas las áreas urbanas son ciudades. Lo urbano es un concepto estático definido por el gobierno de un país. Una ciudad, es más que sólo un gran número de personas viviendo en un perímetro próximo entre sí; es una entidad políticamente, económica y socialmente compleja (SEMARNAP 2001, INEGI 2003).

## Vegetación y Uso de suelo

La vegetación es uno de los indicadores más importantes de las condiciones naturales y de las influencias antrópicas o humanas, la vegetación es un elemento fundamental en la caracterización del paisaje y el soporte de las comunidades. Los estudios sobre el cambio en la cobertura y uso del suelo proporcionan la base para conocer las tendencias de los procesos de deforestación, degradación, desertificación y pérdida de la biodiversidad de una región determinada (Lambin *et al.*, 2001).

## **Estudios Relacionados**

De acuerdo con Kostadinov (1994), la corriente de una microcuenca es una consecuencia de la precipitación pero también depende de factores como suelo, cubierta de la vegetación, procesos de erosión entre otros.

Las investigaciones en el Oeste de Serbia han demostrado el impacto significativo que tiene la cubierta forestal en la microcuenca sobre la descarga máxima anual y la descarga específica.

Peter (1996) realizó un estudio en una zona suburbana y aislada en Nueva York donde estudió efectos sobre la calidad de corriente de agua superficial como; temperatura, conductividad y varias especies químicas. Estos efectos se evaluaron para cinco veranos con tormentas durante un periodo no tormentoso.

Este estudio fue temporal e intensivo, llevado a cabo durante una tormenta donde obtuvo el análisis detallado de la precipitación superficial y drenaje subsuperficial, también se obtuvo que la temperatura y oxígeno disuelto aumentaron dramáticamente en periodos no tormentosos y que el impacto de la salida del lugar o sitio de la corriente es bastante efímero o fugaz.

Este estudio se diseñó para evaluar la calidad de la corriente del agua, su variación espacial y temporal de la conductividad, la temperatura y salinidad en la corriente alrededor de una alameda, para obtener más información se seleccionaron las corrientes naturales y artificiales del sitio, los parámetros de las tormentas que se evaluaron o midieron fueron tres parámetros como; temperatura, conductividad y salinidad que fueron supervisados periódicamente.

En las zonas suburbanas las corrientes arrastraron agentes contaminantes típicos como fertilizantes de jardín y productos de petróleo.

Esta investigación concluyó que el aumento del oxígeno disuelto es debido a la existencia de vegetación acuática que invade el sitio.

La construcción de un estacionamiento cerca de una corriente tiene efectos profundos sobre la calidad en corriente de agua, durante las tormentas ya que se incluyen efectos de dilución sobre la conductividad, aumentó la temperatura, así como los cambios sustanciales de la relación entre la temperatura y la conductividad.

En los períodos no tormentosos, las relaciones de temperaturas en la corriente considerablemente cambian.

Según Maddock *et al.*, (1995) la mayoría de las ciudades fueron fundadas a lo largo de ríos o en áreas que tiene aguas subterráneas fácilmente disponibles. A causa de la precipitación generalmente escasa, el suministro de agua dulce reanudable en el Sudoeste es más pequeño que la mayor parte de otro áreas de los Estados Unidos. A pesar del clima árido, el empleo de agua ha aumentado rápidamente, primero en forma de la irrigación, y después en su empleo en ciudades. Esto ha causado el desarrollo extenso de recursos locales de agua y sobregiro de baños de aguas subterráneas en algunas áreas.

El suministro de abastecimiento de agua de Estados Unidos ha sido estimado en aproximadamente 1,390 mil millones de galones por día (bgd) y su reanulación en la Región Sudoeste es sólo el 2.3 por ciento del suministro nacional reanudable así como la fuente de suministro de esta Región es más dependiente de aguas subterráneas que la nación en total.

El empleo total físico en Región Sudoeste en 1990, incluyendo la evaporación de depósito de 4.6 bgd, era aproximadamente el 17 por ciento del total estadounidense.

La irrigación es un suministro potencial público y las medidas de conservación pueden reducir la tarifa del empleo público de agua en la Región Sudoeste, el crecimiento demográfico inevitablemente conduce a la necesidad de más demanda pública del agua.

Por lo que las demandas son la conservación de agua y opciones de acción de poner el precio e impuesto sobre el agua invertida.

De acuerdo con SEMARNAT (2004), la Región Cuenca de Burgos se ubica en los estados de Coahuila, Nuevo León y Tamaulipas donde existen 18 regiones terrestres prioritarias identificadas por la CONABIO las cuales se destacan por la presencia ecosistémica que presentan, así como de una integridad biológica significativa. Esta cuenca abarca un área importante de la cuenca media y baja del Río Bravo que es una cuenca con gran precisión de desarrollo.

La sustentabilidad de la región Cuenca de Burgos y sus zonas aledañas se puede lograr mediante la conservación y el aprovechamiento racional de sus recursos naturales, así como mejorar la calidad de vida de las localidades de área sujeta al ordenamiento ecológico.

En este ordenamiento ecológico se utilizó cartografía con aspectos de Geología, Relieve, Clima, Hidrología, Suelos, Vegetación, entre otras a escala 1:250 000 empleando los software de Arc/Info v8.1 ArcGis 8.1 y Arc Wiew3.2 para la base de datos.

Con el SIG se hizo posible generar unidades del paisaje para analizar diversos aspectos. La caracterización de geomorfología del paisaje se desarrollo de acuerdo a las topoformas dominantes presentes en la cartografía para permitir identificar riesgos naturales y entender la dinámica de cambio en el paisaje así como su tasa de cambio.

La vegetación y el uso de suelo se consideran un indicador de las condiciones prevaecientes a largo plazo en un sitio, el cambio de cobertura vegetal a lo largo del tiempo muestra los impactos naturales y antropogénicos en los ecosistemas, finalmente la ocupación humana de un territorio se manifiesta en el uso que este hace del suelo.

De acuerdo a Murillo (2002) el estado de Nuevo León, específicamente la ciudad de Monterrey se ha visto afectado por eventos de huracanes (Gilberto en 1988) causando avenidas repentinas del río Santa Catarina y daños en diferentes formas.

El estudio de la Subcuenca 24 Bf se baso en el desarrollo de un procedimiento para construir en un Sistema de Información Geográfica y fue un Modelo Hidrológico que incluyo la descripción morfológica de la subcuenca del área de estudio así como se llevo acabó el cálculo de los caudales máximos en diferentes periodos (1975 y 1995), y finalmente se analizó el cambio de uso de suelo en 20 años y su efecto en el escurrimiento.

Los resultados que se obtuvieron de este estudio en los cauces fueron los siguientes: en 1975 el caudal fue de 5004 m<sup>3</sup>/seg, y en 1995 aumentó a 5528 m<sup>3</sup>/seg; esto representa un incremento de 524 m<sup>3</sup>/seg (10.47% del total) en 20 años. La vegetación en ese lapso de tiempo también cambió debido a diferentes factores de disturbio, como incendios, tala inmoderada, agricultura y ganadería, entre otros.

Estos cambios causan un aumento en el escurrimiento que provoca la erosión de la superficie del suelo y el acarreo de sedimentos, por lo que se considero importante que en área de estudio el plan de un manejo adecuado dirigido a la reforestación en la subcuenca, como medida a largo plazo, además de obras hidráulicas que disminuyan el tiempo de transporte del agua por los cauces, como medidas a corto plazo se puede resolver el problema que representa el aumento de los caudales máximos en el río Santa Catarina en futuro.

## **Bases de Datos**

### Serie I (INEGI 1968 - 1986)

La cartografía básica el INEGI, escala 1:50 000, se elaboró mediante la interpretación de fotografías aéreas tomadas entre los años 1968 y 1986, así como también fue el resultado de un intenso trabajo de campo que incluyó más de 10 000 sitios de verificación.

### Serie II (INEGI 1993 -1996)

A principios de los años noventa, el INEGI llevó acabo una actualización de la cartografía básica serie I con base a la interpretación visual de espaciomapas (imagen de satélite corregidas). Estos espaciomapas fueron derivado de la composición a color de imágenes Landsat TM (combinación de bandas de infrarrojo visibles 4, 3, 2) impresos a escala 1:50 000. El sistema clasificadorio es aún más detallado que el de la serie I, con más de 600 categorías.

## **Sistemas de Información Geográfica**

Los Sistemas de Información Geográfica (SIG) brindan la posibilidad de conocer y analizar las características físicas del terreno y sus recursos naturales, al mismo tiempo facilita la creación de bases de datos que permiten la creación de mapas temáticos (INEGI, 1999).

Los Sistemas de información Geográfico se definen, como un conjunto de métodos, herramientas y datos diseñados para actuar coordinada y lógicamente para capturar, almacenar, analizar, transformar y presentar toda la información geográfica y de sus atributos con el fin de satisfacer múltiples propósitos (Chuvieco, 1990).

Por otra parte, es una nueva tecnología que permite gestionar y analizar la información espacial que surgió como resultado de la necesidad de disponer precipitadamente de información para solucionar problemas y contestar a preguntas de manera inmediata. En forma general, un SIG es un sistema integrado para trabajar con información espacial, herramienta esencial para el análisis y toma de decisiones en muchas áreas vitales para el desarrollo nacional, incluyendo la relación con el estudio científico de la biodiversidad (INEGI, 1999). Los sistemas de información geográfica son alimentados con información ya existente como mapas básicos y temáticos, fotografías aéreas, imágenes de satélite, datos estadísticos, entre otros, y datos que se obtienen directamente del campo con geoposicionadores para después darles un proceso geográfico digital.



## **MATERIALES Y MÉTODOS**

### **Descripción del área de estudio**

#### Ubicación

El área de estudio se localiza en el sureste del estado de Coahuila (Figura 1), incluye la Ciudad de Saltillo y las microcuencas que la impactan. Se localiza entre los 25° 18' y los 25°31' de latitud norte, y entre los 100° 53' y 101° 09' de longitud oeste; presentando una altura entre los 1500 y 3000 msnm. Limita con los municipios de Ramos Arizpe y Arteaga (INEGI, 2000).

#### Clima

El clima en general de acuerdo a la clasificación de Köppen, modificado por García (1973) que presenta el área de estudio es de subtipo seco semicálido; subtipo semiseco templado y grupos de climas secos y semifríos (INEGI, 1999).

La temperatura media anual es de 17.5 °C y la precipitación media anual oscila entre los 300 y 500 milímetros; con lluvias en los meses de abril a octubre, además de precipitaciones escasas de noviembre a marzo (INEGI, 2000).

Los vientos predominantes tienen dirección noreste con velocidad de 22.5 Km/hr. La frecuencia de heladas es de 20 a 40 días en la parte nortee-noreste y suroeste; con granizadas de uno a dos días y de cero a un día en el resto (INEGI 2000).

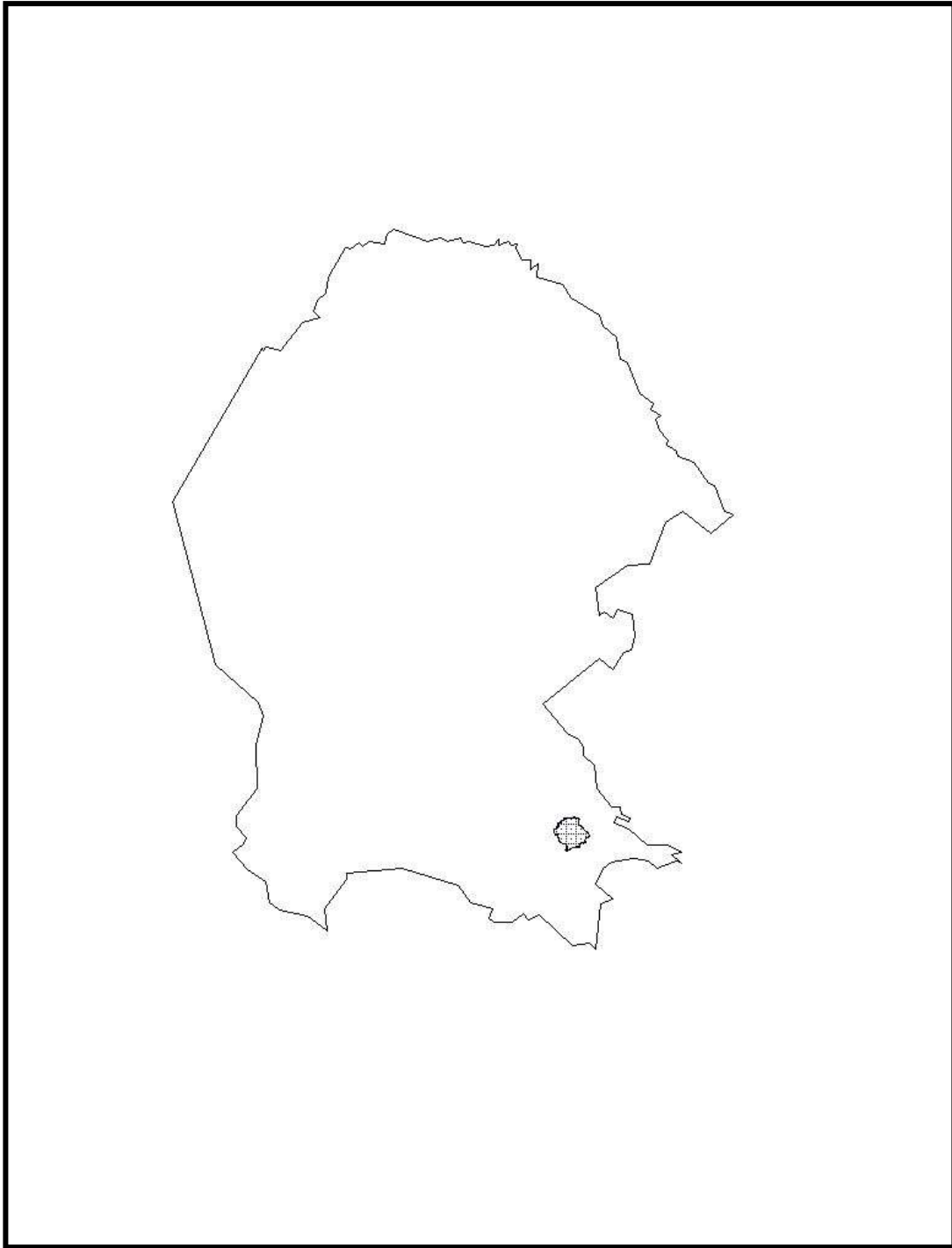


Figura 1. Mapa de ubicación del área de estudio, dentro del estado de Coahuila

## Geología

El área de estudio se contempla dentro de la provincia fisiográfica Sierra Madre Oriental derivándose la subprovincia de los pliegues Saltillo Parras, de un conjunto de valles orientados de Este a Oeste y limitados al Norte y al Sur por valles anticlinales de 1600 msnm esta subprovincia incluye parte de los municipios de Parras y General Cepeda, Saltillo, Arteaga, Ramos Arizpe, Castaños, Candela y Monclava, donde las serranías y lomeríos son las características sobresalientes de la topografía del área de estudio (INEGI, 2000).

## Orografía

Al Oeste se localiza la sierra Playa Madero, que abarca también la parte del sureste de Parras de la Fuente, en el suroeste se localiza la sierra El Laurel, que forma parte también del ya citado municipio, la sierra de Zapalinamé se levanta al este del municipio, y la sierra Hermosa está localizada en el suroeste (INEGI, 2000).

## Hidrología superficial

El área de las microcuencas que impactan la Ciudad de Saltillo pertenecen a la región hidrológica RH24 de la cuenca B y subcuenca e, en donde las unidades de escurrimiento superficial van del 0 al 20 por ciento del escurrimiento medio anual superficial dentro del en el área de estudio (INEGI 1981).

## Suelos

Como se muestra en la Figura 2, las unidades de suelo que predomina en el área de estudio son el Litosol y Xerosol con un 43.36 y 35.65 % de la superficie, los cuales se caracterizan por ser suelos pobres en materia orgánica. Seguido por la unidad de suelo llamada Rendzina que se contempla en un 12.70 % la cual se caracteriza por poseer una capa superficial rica en materia orgánica y en menores proporciones se encuentran las unidades de Regosol, Yermosol y el Feozem que hacen un total del 8.28 % y en estas tres unidades de suelos la susceptibilidad de erosión depende del tipo de terreno en el cual se encuentren (SIGMAPLAN 2000).

## Uso de Suelo y Vegetación

Como se muestra en la Figura 3, la vegetación del área de estudio que predomina es el matorral desértico micrófilo con 96.2 %, seguido por el Matorral Desértico Rosetófilo en un 2.6 %, y la vegetación de Bosque de Pino, Bosque Pino Encino, Matorral Submontano, plantaciones forestales y área urbana se encuentran distribuidos en un 1.1 % (SIGMAPLAN 2000).

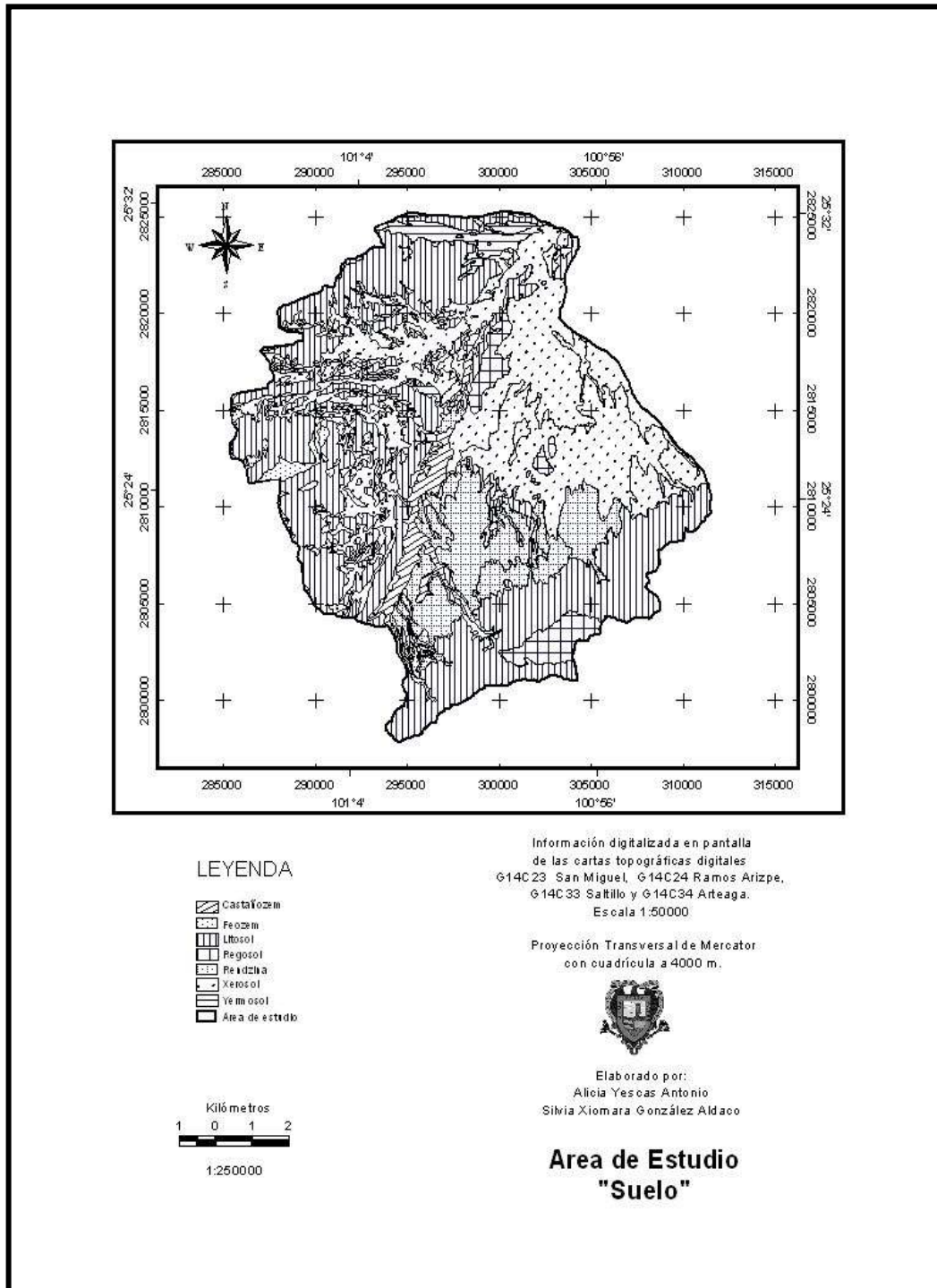


Figura 2. Mapa de unidades de suelo del área de estudio

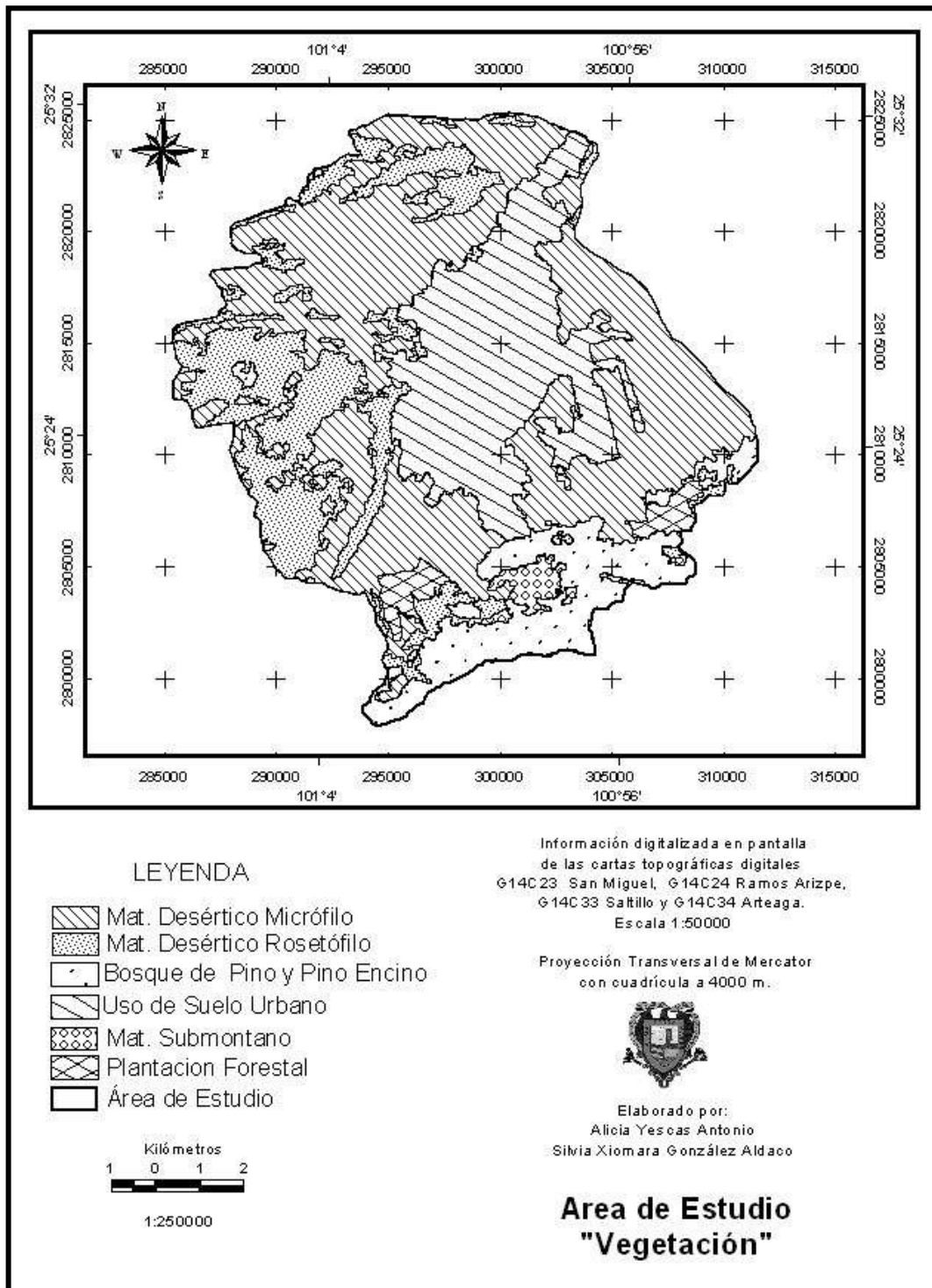


Figura 3. Mapa de la vegetación del área de estudio

## **Metodología**

### Delimitación de microcuencas

La selección del área de estudio se realizó con las cartas topográficas impresas de la serie I a escala 1:50,000 G14C23 San Miguel (CETENAL, 1974), G14C24 Ramos Arizpe (INEGI, 1997), G14C33 Saltillo (CETENAL, 1975) y G14C34 Arteaga (CETENAL, 1975) las cuales se delimitaron las 13 microcuencas tomando en cuenta los parteaguas así como los cauces y en la serie II digital G14C23 (INEGI, 2002), G14C24 (INEGI, 1997), G14C33 (INEGI 2000) y G14C34 (INEGI, 2000) se delimitaron en pantalla con el programa ArcView 3.0 los 13 polígonos de las microcuencas y los cauces que llegan y cruzan la ciudad de Saltillo.

### Digitalización

En las cartas topográficas digitales G14C23, G14C24, G14C33 y G14C34 escala 1:50,000 de la serie II del área de estudio mediante al programa ArcView 3.0 se llevo acabo la digitalización en pantalla de los 13 polígonos de las microcuencas, el uso de suelo urbano de cada una de las microcuencas y los cauces de los arroyos que llegan y atraviesan la Ciudad de Saltillo, y también se llevo acabo la digitalizaron de las curvas a nivel mediante el mismo programa a una distancia entre curva y curva de 100m.

## Indicador del subsistema natural

En este estudio se aplicó el indicador del subsistema natural debido a que en esta área se encuentra concentrada la mayor parte de la población del municipio de Saltillo.

A la tasa de cambio de las cubiertas antropogénicas se le denomina como el proceso de la deforestación.

Esta tasa de deforestación se considera un indicador de la amenaza de los recursos forestales y es esencial para valorar y analizar el comportamiento de otras variables ambientales (clima, suelos, hidrología entre otras) y socioeconómicas (crecimiento demográfico, densidad de población actividades económicas) asociadas.

El subsistema natural o medio físico tiene componentes de recursos y procesos del medio natural.

Según Gómez Orea (2001), el papel del medio físico y la distribución territorial es la relación que existe con las actividades humanas, ya que la población así como las actividades económicas que ésta desarrolla se asienta sobre un entorno físico natural, con el cual se tiene interacción a través de los insumos.



### Tasa de Deforestación

La tasa de deforestación para la serie I y la serie II se obtuvo de las áreas de uso de suelo de cada microcuenca ya digitalizada.

Se calculó de acuerdo a la ecuación citada por la FAO (Palacio *et al.*, 2004).

$$dn = \left[ \frac{S2}{S1} \right]^{1/n} - 1$$

dn = tasa de cambio (para expresar en %, Hay que multiplicar por 100)

S1 = superficie de uso de suelo de la fecha 1

S2 = superficie de uso de suelo de la fecha 2

n = número de años entre dos fechas

### Indicadores del subsistema social y urbano

La aplicación de estos indicadores demuestra los cambios que sufre la población a causa de los fenómenos demográficos fundamentales como: migración, mortalidad y natalidad. Dentro de la planeación gubernamental sirve para tomar decisiones de políticas públicas y de población orientada a la atención de necesidades actuales y demandas futuras en aspectos económicos, sociales y políticos como el empleo, servicios de salud y vivienda.

Los cambios cuantitativos experimentados por la población a través del tiempo se estiman mediante el cálculo de la tasa de crecimiento la cual mide el aumento o disminución anual de la población en un periodo de tiempo determinado, debido a la migración, mortalidad y natalidad.

Esta tasa de crecimiento medio anual de la población se expresa como el porcentaje de la población del año inicial o base,

La densidad de población es la relación del número de habitantes, de un área determinada que sirve para evaluar ó analizar el grado de ocupación del territorio y, por lo tanto es un indicador de la presión demográfica sobre el suelo, que se asocia con el cambio de uso del suelo urbano.

### Tasa de crecimiento medio anual de la población

La tasa de crecimiento medio anual de la población se obtuvo con información de los censos de población y vivienda de los años de 1970 y del 2000 de la población del municipio de Saltillo (SARH, 1970, INEGI, 2000), ya que dicho municipio abarca un área considerable dentro área de estudio.

La tasa de crecimiento demográfico se calculó con la información del censo del año de 1970 y del 2000 mediante la aplicación de la siguiente fórmula:

$$Tc = \left[ \sqrt[t]{P2/P1} - 1 \right] * 100$$

Tc = tasa de crecimiento demográfico

P2 = población final en el periodo de referencia

P1 = población inicial en el periodo de referencia

t = número de años comprendidos en el periodo de referencia

### Densidad de población

El indicador de la densidad de población se obtuvo con información del censo de población y vivienda el año 1970 y 2000 del municipio de Saltillo (SARH, 1970, INEGI, 2000), y con la superficie del área digitalizada del uso de suelo urbano de cada una de las series estudiadas.

La densidad de población se calculó con la información del censo de población y vivienda del año de 1970 y del 2000 mediante la aplicación de la siguiente fórmula:

$$D = \text{población total (en al menos dos fechas)} / \text{superficie en km}^2$$

### Características morfológicas de las microcuencas

Se analizaron las características morfológicas obteniéndose parámetros físicos como: forma, drenaje y de relieve de las 13 microcuencas que impactan la Ciudad de Saltillo, utilizando la serie cartográfica I y la serie cartográfica II.

### Parámetros de forma

Con cada una de las microcuencas ya digitalizada para las mediciones de los parámetros físicos se utilizó la carta topográfica 1:50 000 digital con clave G14C23 San Miguel, G14C24 Ramos Arizpe, G14C33 Saltillo y G14C34 Arteaga editado por el INEGI y CETENAL.

Área o magnitud de la cuenca ( $A_c$ ), perímetro ( $P_c$ ) y longitud ( $L_c$ ) de la cuenca:

Mediante el programa ArcView 3.0 y con cada una de las microcuencas ya digitalizadas se realizaron los cálculos de estos parámetros, primeramente se verificó que cada una de las microcuencas tuviera en sus propiedades NAD 1927 y las unidades en metros posteriormente se corrió un Script de área y perímetro de cada una de las 13 microcuencas y con la extensión 3D analyst se obtuvo el atributo o resultado del área o magnitud de la cuenca ( $Km^2$ ) y perímetro (Km.), para obtener la longitud de cada una de las cuencas se hizo uso del measure (herramienta del ArcView 3.0) con el cual se obtuvo el resultado directo de la longitud de cada microcuena.

Índice de forma  $R_f$

Se calculó mediante la ecuación propuesta por Horton, (1932).

$$R_f = A_c / L_c^2$$

$R_f$  = índice de forma

$A_c$  = área de la cuenca

$L_c^2$  = longitud de la cuenca

Coeficiente de compacidad,  $C_c$

Se calculó de acuerdo a la formula de Gravelius mencionado por Wisler and Brater (1959).

$$C_c = P_c / P_o = 0.282 P / \sqrt{A_c}$$

$P_c$  = Perímetro de la cuenca

$P_o$  = Perímetro de un círculo

$A_c$  = Área de la cuenca en  $KM^2$

Relación de elongación,  $R_e$

Este resultado se obtuvo aplicando la formula de Schumm mencionado por Ward (1975).

$$R_e = D / L_c = 1.12.84 \sqrt{A_c} / L_c$$

$D$  = diámetro de un círculo

$A_c$  = área de la cuenca

$L_c$  = longitud de la cuenca

## Parámetros de drenaje

### Orden de cauce

Este orden de cauce se realizó para cada microcuenca con la clasificación sugerida por Horton (1945), donde un río de primer orden es un tributario pequeño sin ramificaciones. Un río de segundo orden posee únicamente ramificaciones de primer orden. Un río de tercer orden es uno que posee ramificaciones de primero y segundo orden. Un río de cuarto orden es uno que tiene ramificaciones de primer orden, segundo y tercer orden, y así sucesivamente. El orden de una cuenca hidrográfica está dado por el número de orden del cauce principal.

### Relación de bifurcación $R_b$

Esta relación se obtuvo aplicando la siguiente fórmula:

$$R_b = N_u / N_{u+1}$$

$R_b$  = relación de bifurcación

$N_u$  = número total de cauces con orden  $u$

$u$  = número de orden de cauce

### Longitud de cauces

Es la medición lineal de la longitud total de cauces ( $L$ ) expresada en Km.

### Densidad de drenaje ( $D_d$ )

Para la obtención de la densidad de drenaje se aplicó la siguiente formula:

$$D_d = L/A_c$$

L = longitud total de los cauces

$A_c$  = área de la cuenca

### Frecuencia de cauces ( $F_c$ )

Para la obtención de la Frecuencia de cauces se aplico la siguiente formula:

$$F_c = N_u / A_c$$

$N_u$  = número total de cauces

$A_c$  = área de la cuenca

## Parámetros de relieve

### Pendiente media de la cuenca

Para esta estimación se utilizó el criterio de Alvord que se expresa de la siguiente manera:

$$S_c = D_n * L_b / A_c$$

$S_c$  = pendiente media de la cuenca (Adimensional)

$L_b$  = longitud de total de las curvas a nivel, en Km.

$D_n$  = desnivel constante entre curvas de nivel, en Km.

$A_c$  = área de la cuenca, en Km<sup>2</sup>

### Elevación media de la cuenca

La elevación media de la cuenca se calculó utilizando todas las elevaciones que se encuentran dentro de la cuenca.



## Pendiente y perfil del cauce principal

La pendiente puede clasificar el relieve o topografía del terreno, según los valores propuestos por Heras (1976), citados en el Cuadro 1.

Cuadro 1. Clasificación por rangos de pendiente y tipo de terreno.

<b>RANGOS DE PENDIENTE (<math>S_1</math>)</b> %	<b>TIPO DE TERRENO</b> (Heras, 1976)
0 - 2	Llano
2 - 5	Suave
5 - 10	Accidentado medio
10 - 15	Accidentado
15 - 25	Fuertemente Accidentado
25 - 50	Escarpado
>50	Muy Escarpado

La pendiente del cauce principal se obtuvo mediante el criterio simplificado que se expresa de la siguiente manera:

$$S_1 = H / L_p$$

$S_1$  = pendiente del cauce principal, adicional

H = desnivel del río, en m

$L_p$  = longitud del cauce principal, en m

## Sistemas de clasificación de cuencas

Las microcuencas se clasificaron de acuerdo a Campos (1992), como se muestra en el Cuadro 2.

Cuadro 2. Clasificación de las cuencas hidrológicas.

Tamaño de la cuenca(Km <sup>2</sup> )	Descripción
<25	Muy pequeña
25 a 250	Pequeña
250 a 500	Intermedia - pequeña
500 a 2500	Intermedia grande
2500 a 5000	Grande
>5000	Muy pequeña

## Análisis multivariado

En el análisis multivariado de factores las variables analizadas fueron: serie, área, uso de suelo urbano (USU), densidad de drenaje (DD), frecuencia de cauce (FC) Numero de cauces (NC) y la elevación (ALT).

Según Manly (1986), el modelo de análisis de factores se expresa de la siguiente forma:

$$X_i = a_{i1}f_1 + a_{i2}f_2 + \dots + a_{im}f_m + e_i$$

$X_i$  es el resultado de  $i$ -ésima prueba o variable

$f$ 's factores comunes básicos, son no observables, representa un vector de observaciones

$a_{ij}$  indica la importancia de  $f_1$  en la variable  $X_i$

$e_i$  factor específico, para la parte de la variable que es única a esa variable

El análisis multivariado de factores según Rencher (1995) citado por De la Garza (2001), tiene como objetivo representar las variables  $X_1, X_2, \dots, X_p$  como combinaciones lineales de un pequeño número de variables aleatorias  $f_1, f_2, \dots, f_m$  llamadas factores o índices. Al igual que las variables originales, los factores varían de individuo a individuo, pero a diferencia de las variables, los factores no pueden ser medidos u observados.

Se calculará del escurrimiento medio anual mediante la siguiente fórmula:

$$V_m = A C P_m$$

$V_m$  = Volumen medio anual escurrido (miles de  $m^3$ )

$A$  = Área de uso de suelo urbano

$C$  = Coeficiente de escurrimiento (100%)

$P_m$  = Precipitación media anual

#### Productos obtenidos

- Mapas de cambio de uso de suelo urbano y cauces de los arroyos para cada una de las 13 microcuencas para los años 1975 y 2000.
- Mapas de cambio de uso de suelo urbano y cauces de los arroyos para el área general de estudio para los años 1975 y 2000.

## RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Indicador del subsistema natural

### Tasa de Deforestación

El cuadro 3. Muestra el porcentaje de cambio que se ha generado en 25 años que fue de un 32.395 % el resultado obtenido en dicha área, lo cual representa la deforestación que se generó en el área de estudio y nos indica la amenaza de los recursos forestales así como el comportamiento de otras variables asociadas como el crecimiento demográfico.

Cuadro 3. Porcentaje de la tasa de cambio de área de uso de suelo (US) de las microcuencas.

<b>MICROCUENCA</b>	<b>ÁREA TOTAL Km<sup>2</sup></b>	<b>ÁREA US Km<sup>2</sup> 1975</b>	<b>ÁREA US Km<sup>2</sup> 2000</b>	<b>% DE CAMBIO</b>
El Mulato	76.73	5.976	11.578	2.681
Palma Gorda Baja	48.47	2.124	4.33	2.89
Arroyo Saltillo 2	6.89	4.773	6.083	0.975
Arroyo Saltillo1	7.04	4.631	5.706	0.838
Agua de las Mulas	49.81	0.748	3.809	6.728
Cañón las Terneras	12.27	0.107	0.159	1.597
Cañón Salsipuedes	5.24	0.396	0.655	2.033
C. Espinazo del Diablo	6.37	0.549	0.878	1.896
Cañón San Lorenzo	36.87	1.206	2.777	3.393
San José del Álamo	7.84	2.742	4.652	2.137
Arroyo del Pueblo	91.9	53.029	71.948	1.228
Cañada el Cuatro	51.14	8.876	20.543	3.414
Cañada Boca de León	29.98	2.467	4.669	2.585
<b>TOTAL</b>	<b>430.55</b>	<b>87.624</b>	<b>137.787</b>	<b>32.395</b>

## Indicadores del subsistema social y urbano

### Tasa de crecimiento medio anual de la población

En la Figura 4 se refleja que el cambio que ha sufrido la población del municipio de Saltillo es de un aumento anual del 73.96 % a causa de los fenómenos demográficos como la migración, mortalidad y natalidad estimada a partir del año de 1970 al 2000.

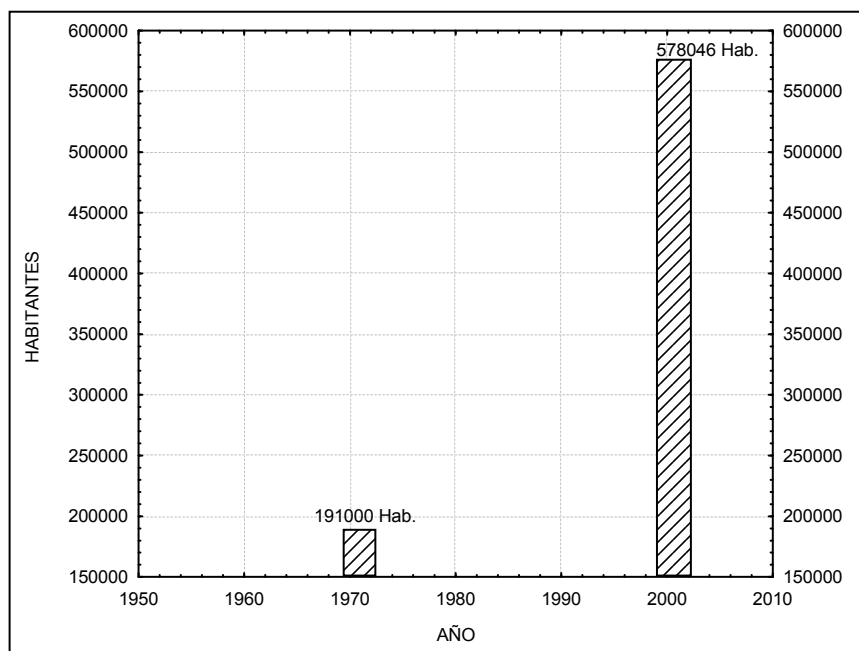


Figura 4. Población total para 1970 y 2000.

En la Figura 5 se aprecia la densidad de población que se calculó para el área urbana de Saltillo en 1970 y 2000. Para el año de 1970 se estimó una densidad de población de 2179.37015 hab./Km<sup>2</sup>, la cual se considera como una población escasa, Sin embargo, para el 2000 esta cifra de densidad estimada aumentó a 4196.341 hab./Km<sup>2</sup> habitantes, lo cual representa una población intensa causando mayores presiones demográficas sobre el suelo y los recursos naturales.

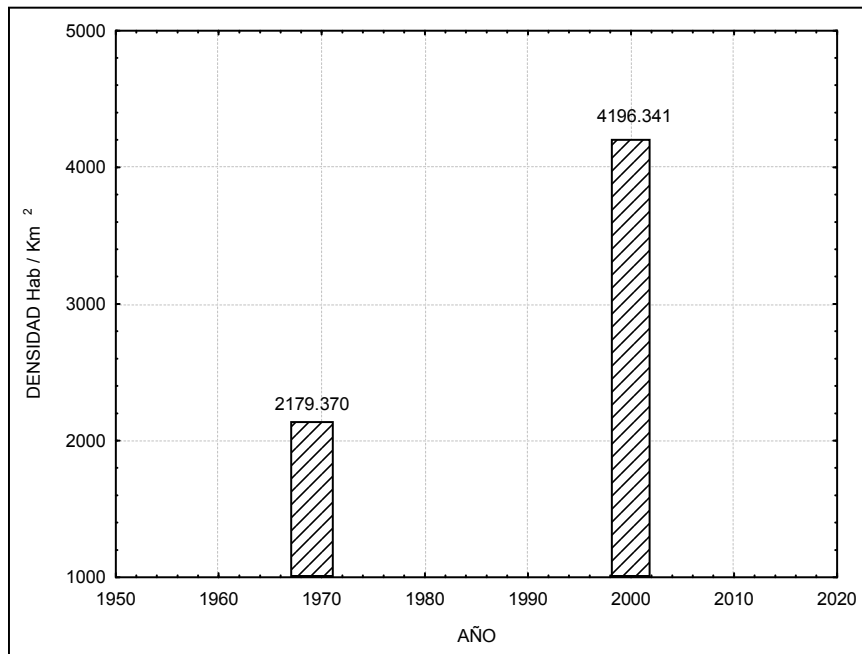


Figura 5. Densidad de población

## Morfología de las microcuencas

### Microcuenca hidrológica el Mulato

En la figura 6 se observa esta microcuenca con el cambio de uso de suelo así como los cauces de los arroyos y las curvas a nivel de las dos series estudiadas.

Los parámetros de forma y los de relieve debido a que no se modifican se analizaron en una sola serie.

Esta microcuenca cuenta con un área de 76.73 Km<sup>2</sup> que es considerada por su magnitud una microcuenca pequeña con un perímetro de 51.31 Km y longitud de 17.66 Km, la forma de la cuenca es de 0.25 y debido al coeficiente de compacidad que es de 1.65 se considera una microcuenca oblonga con una relación de elongación de 0.56 su pendiente media es de 12.98 % y la pendiente y perfil del cauce principal es de 7.26 % la cual considera un terreno suave.

Los parámetros de la red de drenaje (cuadro 4) nos indica que la microcuenca el Mulato pertenece al cuarto orden con una relación de bifurcación de 3.33, dicha microcuenca cuenta con 147cauces, pero la longitud total de cauce principal se ha visto afectada ya que en el transcurso de 25 años disminuyó 1.58 Km y su densidad de drenaje oscila en los 2.40 Km / Km<sup>2</sup> con una frecuencia de 1.92 Cauce / Km<sup>2</sup>.

Cuadro 4. Red de drenaje de la microcuenca El Mulato

<b>RED DE DRENAJE</b>	<b>UNIDAD</b>	<b>1975</b>	<b>2000</b>
Orden de cauce		cuarto	cuarto
Relación de bifurcación		3.33	3.33
Número total de cauces	número	147	147
Longitud total de cauce principal	Km	185.61	184.03
Densidad de drenaje	Km / Km <sup>2</sup>	2.42	2.40
Frecuencia de cauces	Cauce / Km <sup>2</sup>	1.92	1.92

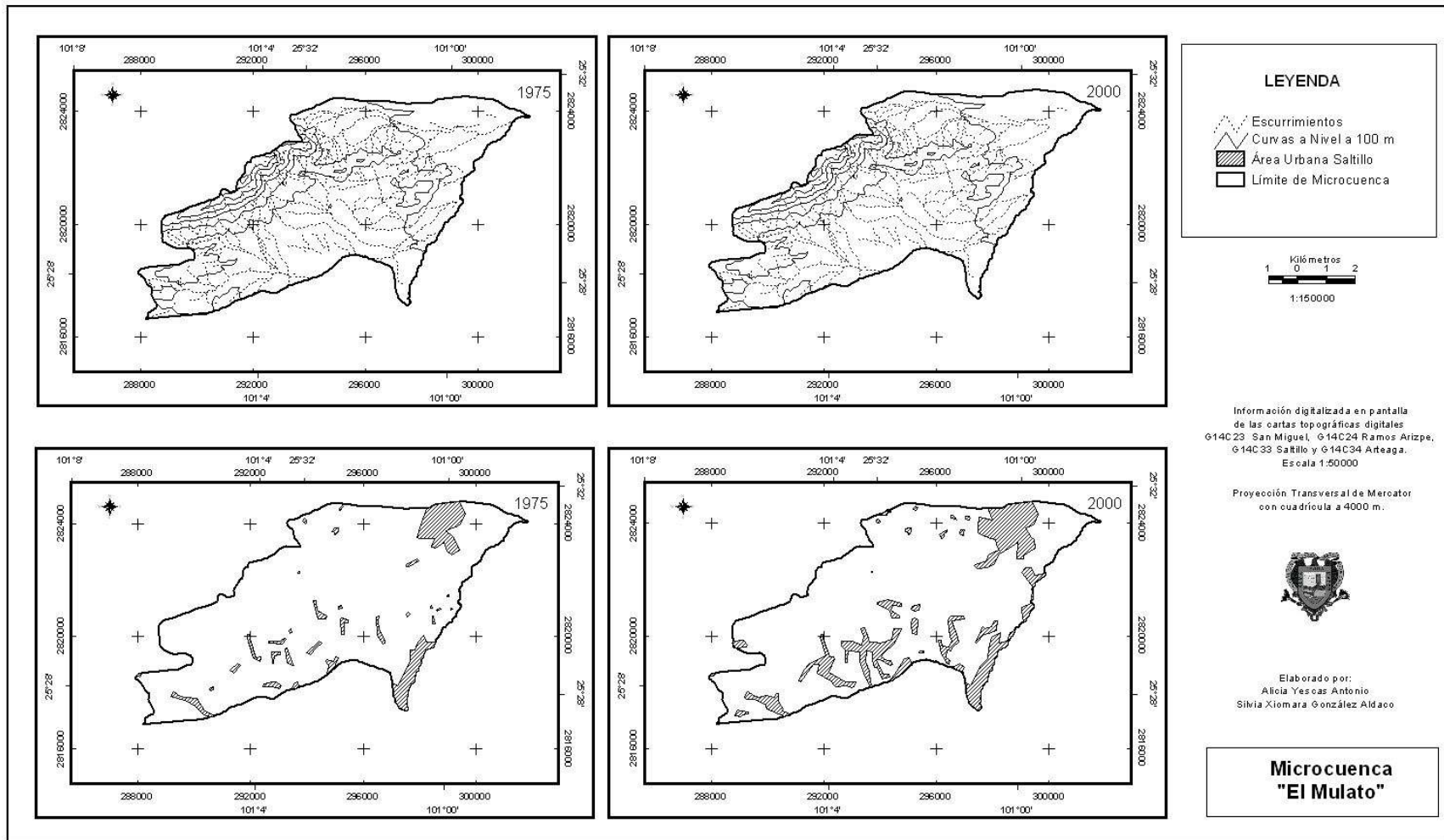


Figura 6. Microcuenca el Mulato



En la figura 7 se aprecia la curva hipsométrica de la microcuenca el Mulato con una elevación de 1630 msnm en la cual se representa la mitad del área total de la microcuenca, el comportamiento de la elevación y el área acumulada proyecta que la microcuenca se encuentra en etapa de equilibrio geológicamente madura considerada también cuenca de montaña.

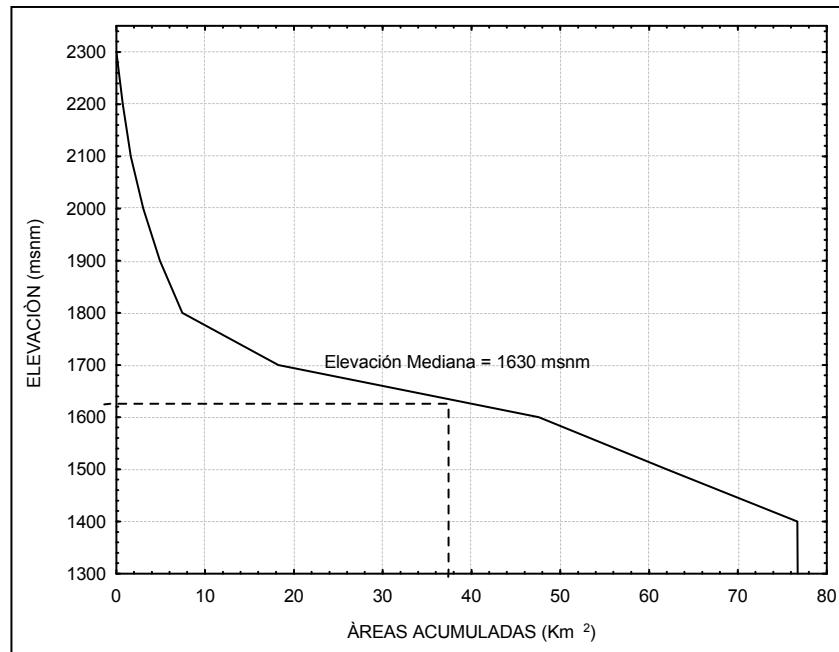


Figura 7. Curva hipsométrica de la microcuenca el Mulato

## Microcuenca Palma Gorda Baja

En la figura 8 se observa esta microcuenca con el cambio de uso de suelo así como los cauces de los arroyos y las curvas a nivel de las dos series estudiadas.

Los parámetros de forma y los de relieve debido a que no sufren modificación se analizaron en una sola serie.

Esta microcuenca cuenta con un área de 48.47 Km<sup>2</sup> que es considerada por su magnitud una microcuenca pequeña con un perímetro de 36.83 Km y longitud de 13.41 Km, la forma de la cuenca es de 0.27 y debido al coeficiente de compacidad que es de 1.49 se considera una microcuenca ovalada con una relación de elongación de 0.59 su pendiente media es de 16.50 % y la pendiente y perfil del cauce principal es de 5.27 % la cual considera un terreno suave en dicha microcuenca.

Los parámetros de la red de drenaje (cuadro 5) nos indica que la microcuenca el Mulato pertenece al quinto orden con una relación de bifurcación de 2.99, dicha microcuenca perdió un cauce, pero la longitud total de cauce principal se ha visto afectada ya que en el transcurso de 25 años disminuyó 1.43 Km y su densidad de drenaje de la serie II fue de 2.35 Km / Km<sup>2</sup> con una frecuencia de 1.69 Cauce / Km<sup>2</sup> en la serie II.

Cuadro 5. Red de drenaje de la microcuenca Palma Gorda Baja

<b>RED DE DRENAJE</b>	<b>UNIDAD</b>	<b>1975</b>	<b>2000</b>
Orden de cauce		quinto	quinto
Relación de bifurcación		2.99	2.99
Número total de cauces	número	83	82
Longitud total de cauce principal	Km	115.44	114.01
Densidad de drenaje	Km / Km <sup>2</sup>	2.38	2.35
Frecuencia de cauces	Cauce / Km <sup>2</sup>	1.71	1.69

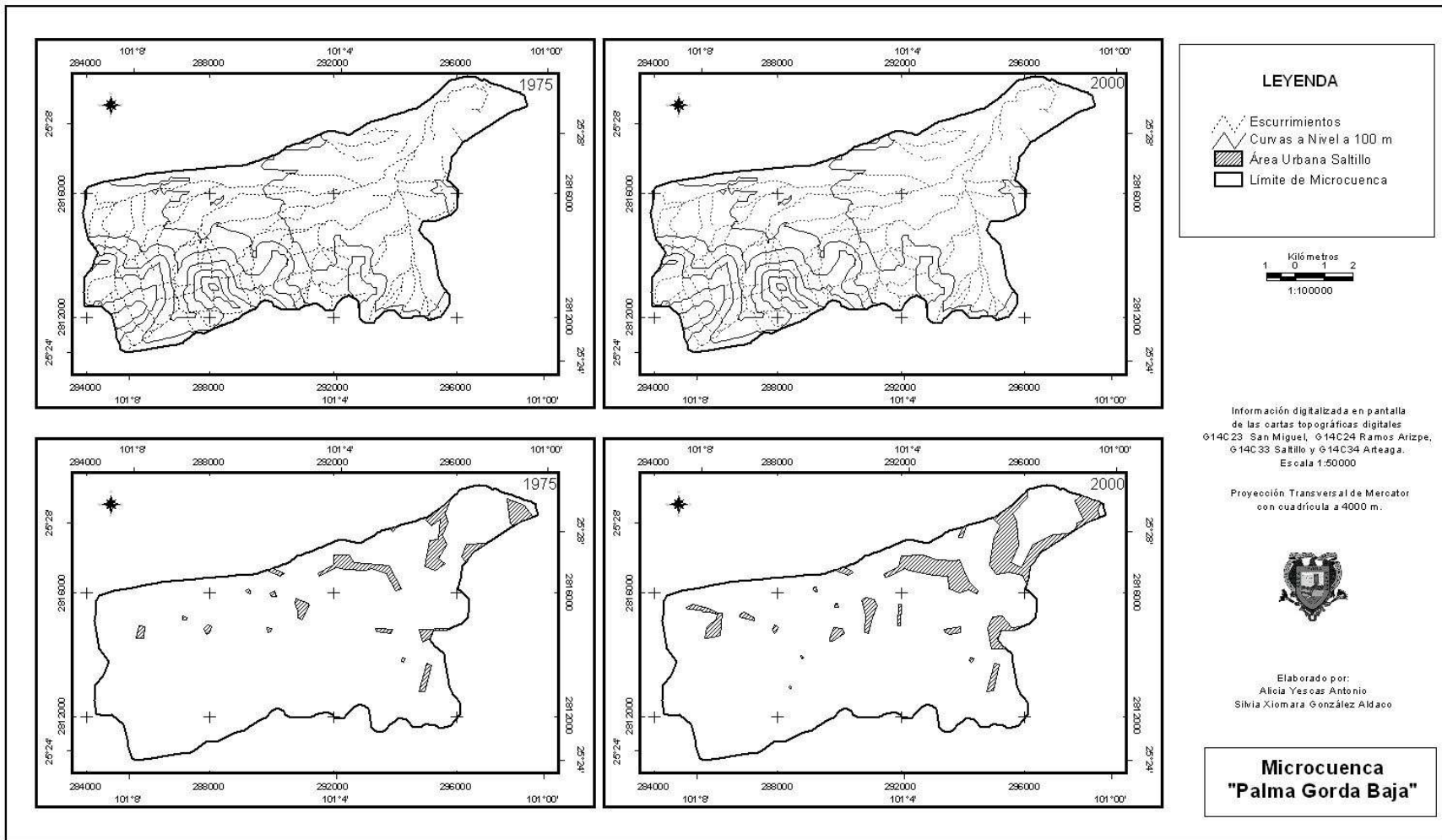


Figura 8. Microcuenca Palma Gorda

En la figura 9 se aprecia la curva hipsométrica de la microcuenca Palma Gorda Baja con una elevación mediana de 1720 msnm en la cual se representa la mitad del área total de la microcuenca, el comportamiento de la elevación y el área acumulada proyecta que la microcuenca se encuentra en etapa de equilibrio geológicamente madura considerada también una cuenca de montaña.

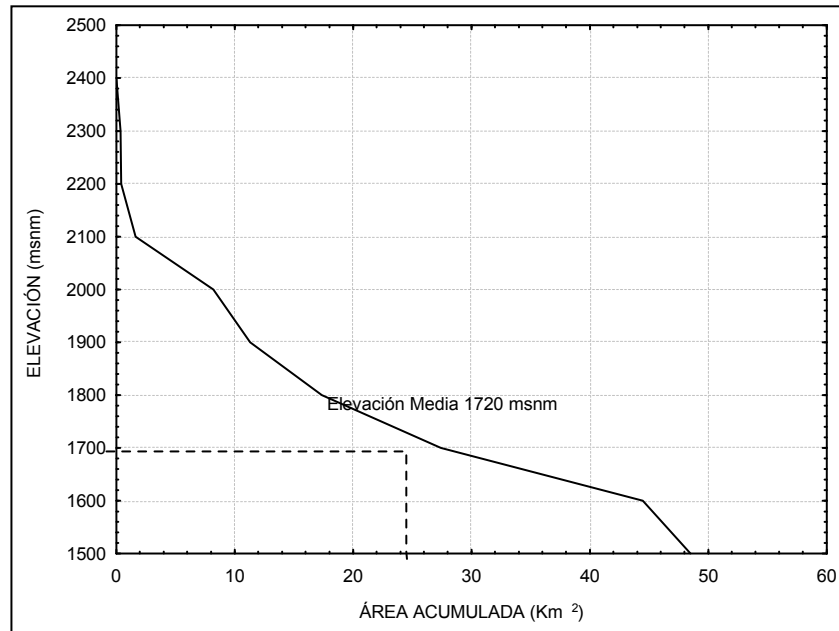


Figura 9. Curva hipsométrica de la microcuenca Palma Gorda Baja

## Microcuenca Arroyo Saltillo 2

En la figura 10 se observa esta microcuenca con el cambio de uso de suelo así como los cauces de los arroyos y las curvas a nivel de las dos series estudiadas.

Los parámetros de forma y los de relieve debido a que no se modifican se analizaron en una sola serie.

Esta microcuenca cuenta con un área de 6.89 Km<sup>2</sup> que es considerada por su magnitud una microcuenca muy pequeña con un perímetro de 10.93 Km y longitud de 3.69 Km, la forma de la cuenca es de 0.51 y debido al coeficiente de compacidad que es de 1.17 se considera una microcuenca redonda con una relación de elongación de 0.80 su pendiente media es de 5.72 % y la pendiente y perfil del cauce principal es de 15.70 % la cual considera un terreno accidentado.

Los parámetros de la red de drenaje (cuadro 6) nos indica que la microcuenca el Saltillo 2 pertenece al quinto orden con una relación de bifurcación de 5, dicha microcuenca cuenta con 5 cauces, pero la longitud total de cauce principal no se ha visto afectada en el transcurso de 25 años ya que conserva 3.94 Km y su densidad de drenaje es de 0.57 Km / Km<sup>2</sup> con una frecuencia de 0.73 Cauce / Km<sup>2</sup>.

Cuadro 6. Red de drenaje de la microcuenca Saltillo 2

<b>RED DE DRENAJE</b>	<b>UNIDAD</b>	<b>1975</b>	<b>2000</b>
Orden de cauce		primero	primero
Relación de bifurcación		5	5
Número total de cauces	número	5	5
Longitud total de cauce principal	Km	3.94	3.94
Densidad de drenaje	Km / Km <sup>2</sup>	0.57	0.57
Frecuencia de cauces	Cauce / Km <sup>2</sup>	0.73	0.73

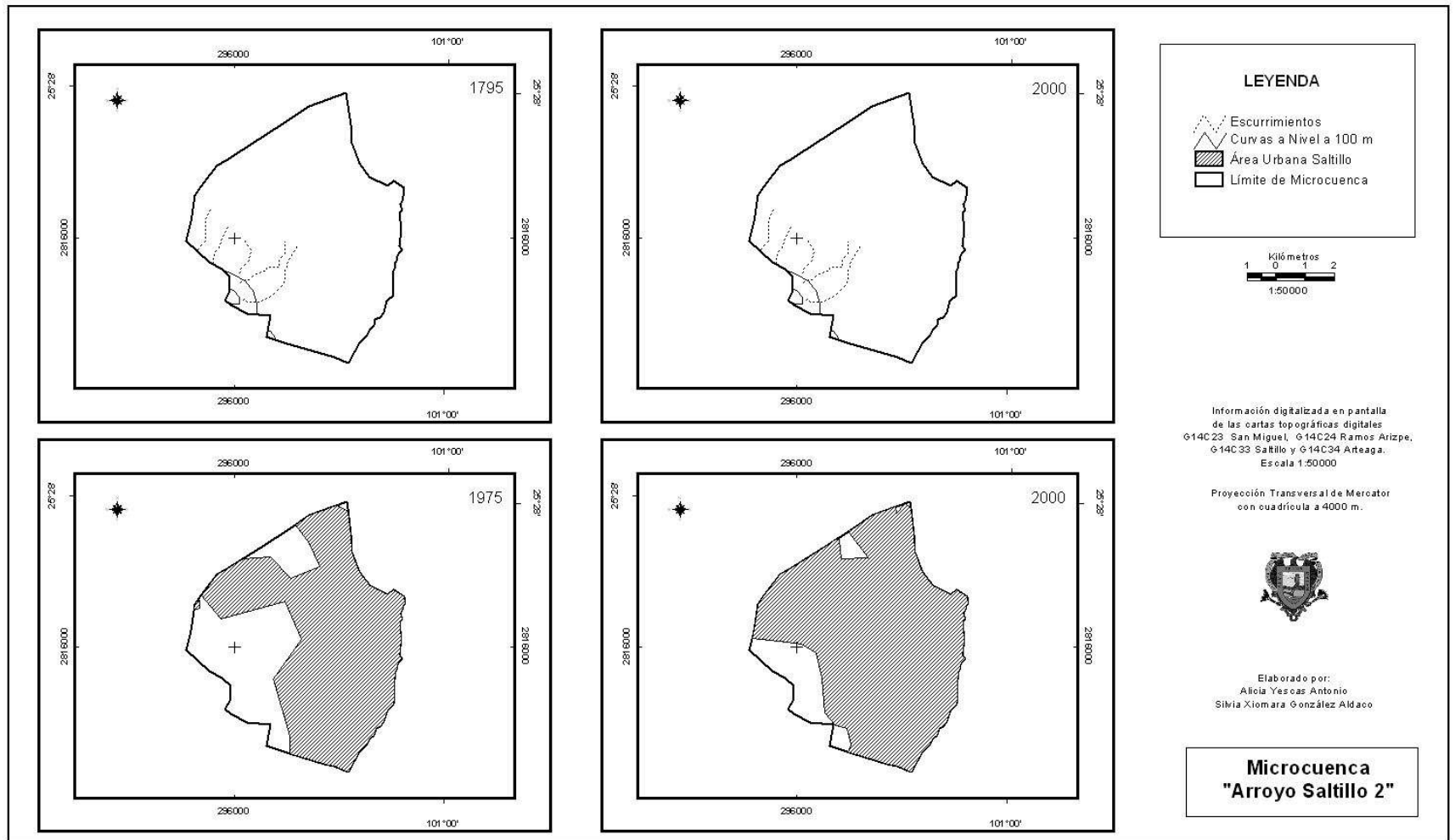


Figura 10. Microcuenca Arroyo Saltillo 2

En la figura 11 se aprecia la curva hipsométrica arroyo Saltillo 2 con una elevación mediana de 1580 msnm y el comportamiento de la elevación y el área acumulada proyecta que la microcuenca se encuentra en etapa erosionada o también denominada cuenca de valle.

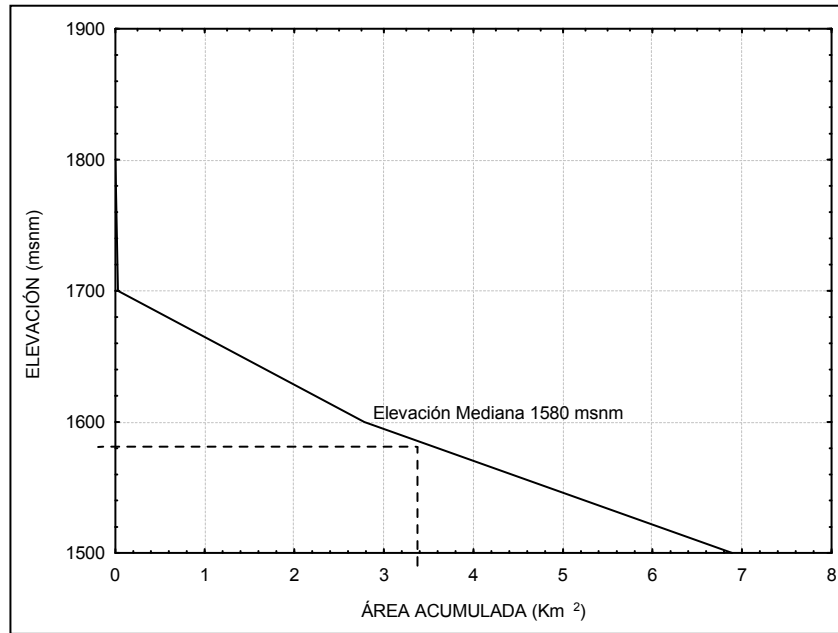


Figura 11. Curva hipsométrica de la microcuenca Saltillo 2

## Microcuenca Arroyo Saltillo 1

En la figura 12 se observa esta microcuenca con el cambio de uso de suelo así como los cauces de los arroyos y las curvas a nivel de las dos series estudiadas.

Los parámetros de forma y los de relieve debido a que no se modifican se analizaron en una sola serie.

Esta microcuenca cuenta con un área de 7.04 Km<sup>2</sup> que es considerada por su magnitud una microcuenca muy pequeña con un perímetro de 13.77 Km y longitud de 4.65 Km, la forma de la cuenca es de 0.33 y debido al coeficiente de compacidad que es de 1.46 se considera una microcuenca ovalada con una relación de elongación de 0.64 su pendiente media es de 8.72 % y la pendiente y perfil del cauce principal es de 7.08 % la cual considera un terreno suave.

Los parámetros de la red de drenaje (cuadro 7) nos indica que la microcuenca Arroyo Saltillo pertenece al segundo orden con una relación de bifurcación que cambio de 2 a 5 en 25 años, dicha microcuenca en el transcurso de 25 años a perdido 3 cauces, pero la longitud total de cauce principal se ha visto afectada ya que en el transcurso de 25 años disminuyó 2 Km y su densidad de drenaje oscila entre los 1.15 y 0.87 Km / Km<sup>2</sup> con una frecuencia de 0.99 Cauce / Km<sup>2</sup> en la serie II.

Cuadro7. Red de drenaje de la microcuenca Arroyo Saltillo 1

<b>RED DE DRENAJE</b>	<b>UNIDAD</b>	<b>1975</b>	<b>2000</b>
Orden de cauce		segundo	segundo
Relación de bifurcación		2	5
Número total de cauces	número	7	4
Longitud total de cauce principal	Km	8.10	6.10
Densidad de drenaje	Km / Km <sup>2</sup>	1.15	0.87
Frecuencia de cauces	Cauce / Km <sup>2</sup>	0.57	0.99



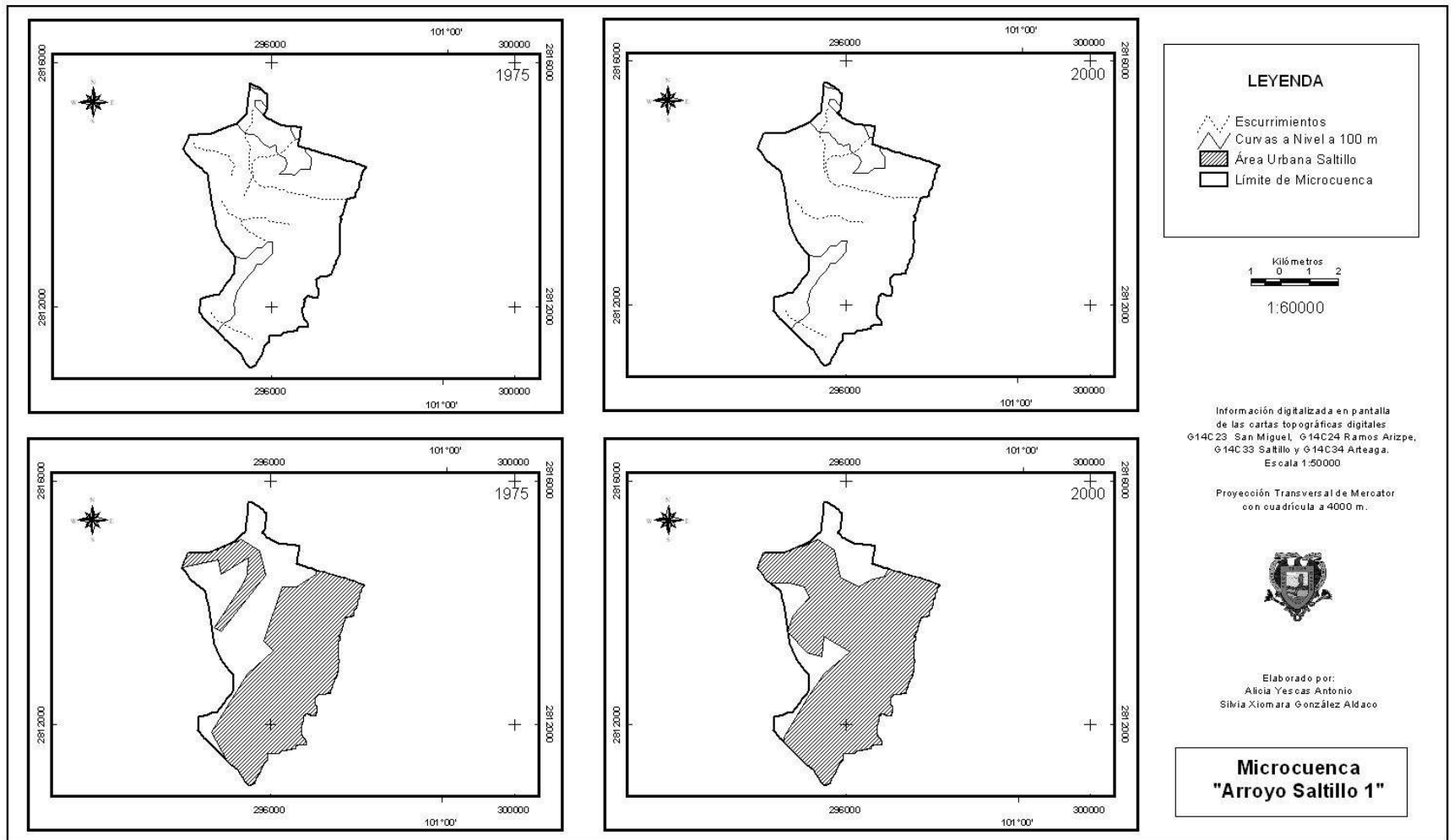


Figura 12. Microcuenca Arroyo Saltillo 1

En la Figura 13 se aprecia la curva hipsométrica con una elevación mediana de 1650 msnm y el comportamiento de la elevación y el área acumulada proyecta que la microcuenca se encuentra en etapa de desequilibrio o geológicamente joven.

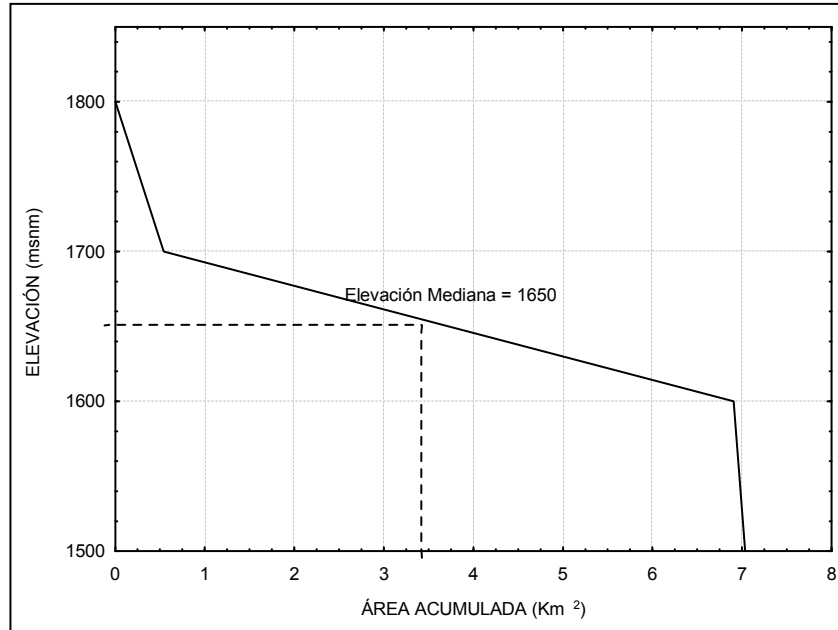


Figura 13. Curva hipsométrica de la microcuenca Arroyo Saltillo 1

## Microcuenca Agua de las Mulas

En la figura 14 se observa esta microcuenca con el cambio de uso de suelo así como los cauces de los arroyos y las curvas a nivel de las dos series estudiadas.

Los parámetros de forma y los de relieve debido a que no se modifican se analizaron en una sola serie.

Esta microcuenca cuenta con un área de 49.81 Km<sup>2</sup> que es considerada por su magnitud una microcuenca pequeña con un perímetro de 30.77 Km y longitud de 9.55 Km, la forma de la cuenca es de 0.55 y debido al coeficiente de compacidad que es de 1.23 se considera una microcuenca redonda con una relación de elongación de 0.83 su pendiente media es de 16.54 % y la pendiente y perfil del cauce principal es de 6.31 % la cual considera un terreno suave.

Los parámetros de la red de drenaje (cuadro 8) nos indica que la microcuenca Agua de Las Mulas pertenece al cuarto orden con una relación de bifurcación de 4.15, dicha microcuenca cuenta con 90 cauces, pero la longitud total de cauce principal no se ha visto afectada en el transcurso de 25 años ya que conserva 119.76 Km y su densidad de drenaje es de 2.40 Km / Km<sup>2</sup> con una frecuencia de 1.81 Cauce / Km<sup>2</sup>.

Cuadro 8. Red de drenaje de la microcuenca Agua de las Mulas

<b>RED DE DRENAJE</b>	<b>UNIDAD</b>	<b>1975</b>	<b>2000</b>
Orden de cauce		cuarto	cuarto
Relación de bifurcación		4.15	4.15
Número total de cauces	número	90	90
Longitud total de cauce principal	Km	119.76	119.76
Densidad de drenaje	Km / Km <sup>2</sup>	2.40	2.40
Frecuencia de cauces	Cauce / Km <sup>2</sup>	1.81	1.81

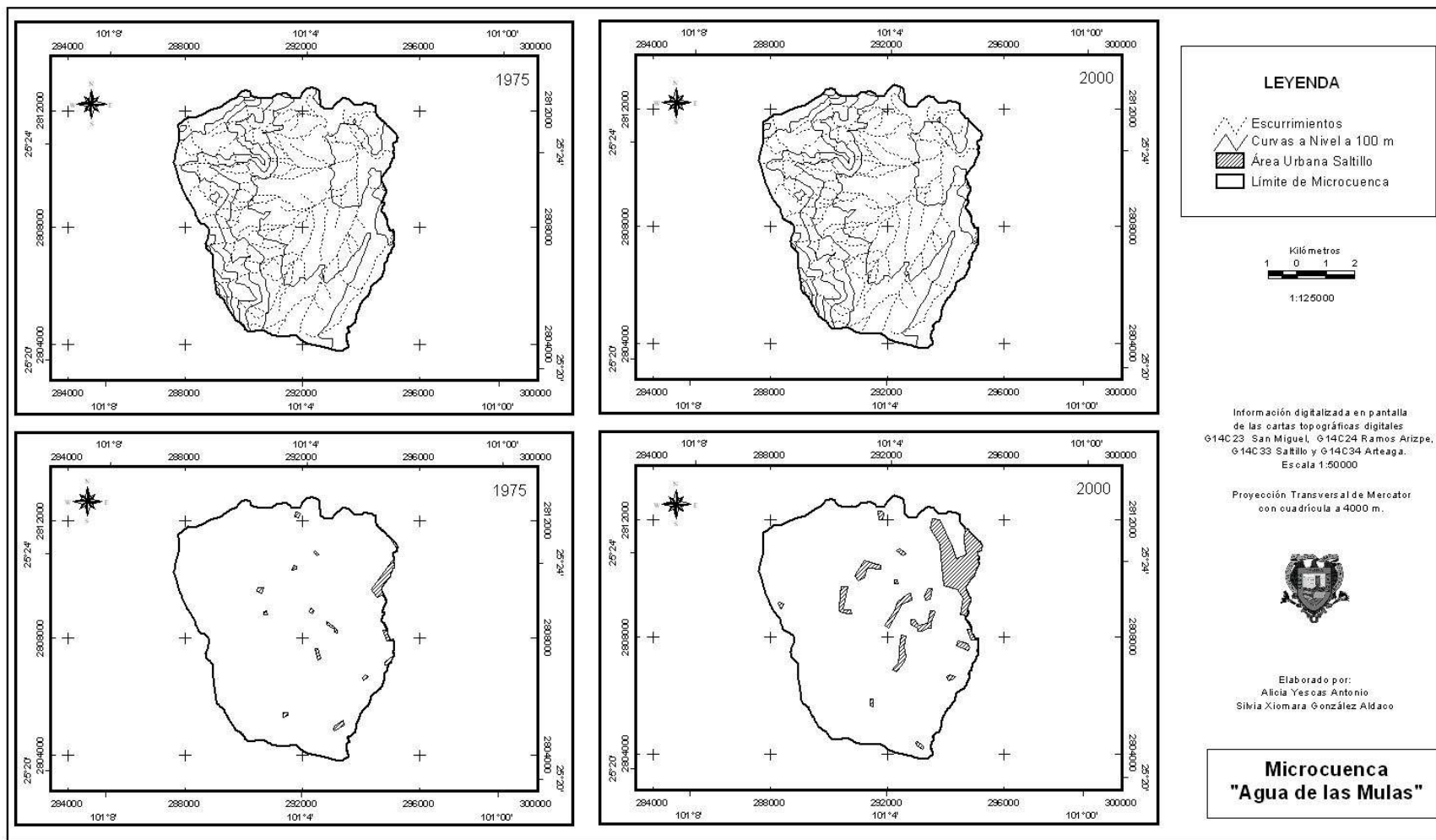


Figura 14. Microcuenca Agua de las Mulas

En la figura 15 se aprecia la curva hipsométrica con una elevación mediana de 1800 msnm y el comportamiento de la elevación y el área acumulada proyecta que la microcuenca se encuentra en etapa de equilibrio o geológicamente madura considerada también como cuenca de montaña.

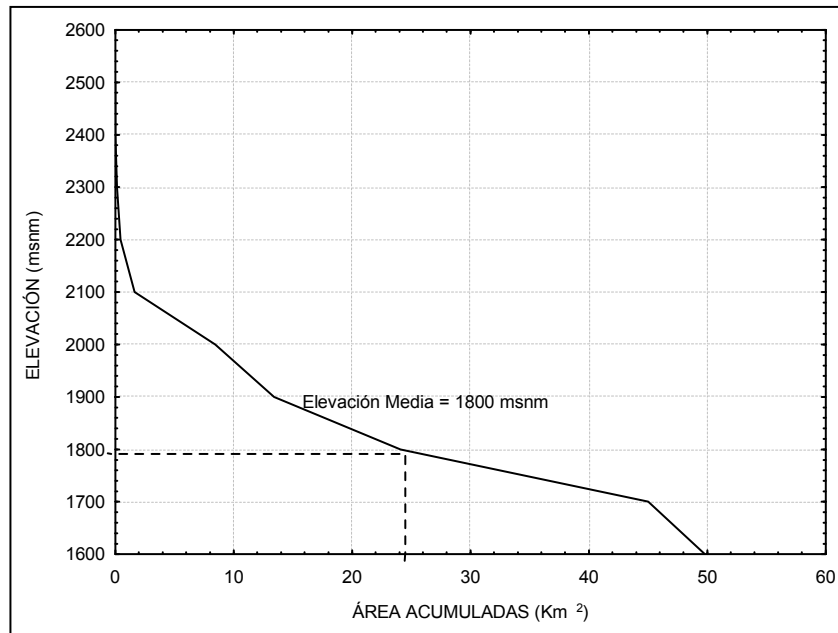


Figura 15. Curva hipsométrica de la microcuenca Agua de las Mulas

## Microcuenca Cañón las Terneras

En la figura 16 se observa esta microcuenca con el cambio de uso de suelo así como los cauces de los arroyos y las curvas a nivel de las dos series estudiadas.

Los parámetros de forma y los de relieve debido a que no se modifican se analizaron en una sola serie.

Esta microcuenca cuenta con un área de 12.27 Km<sup>2</sup> que es considerada por su magnitud una microcuenca pequeña con un perímetro de 22.25 Km y longitud de 6.39 Km, la forma de la cuenca es de 0.30 y debido al coeficiente de compacidad que es de 1.79 se considera una microcuenca alargada con una relación de elongación de 0.62 su pendiente media es de 56.24 % y la pendiente y perfil del cauce principal cambio 0.23 % la cual después de 25 años se considera que cambio de un terreno suave a un terreno accidentado medio.

Los parámetros de la red de drenaje (cuadro 9) nos indica que la microcuenca Cañón las Terneras pertenece al tercer orden con una relación de bifurcación de 4.88, dicha microcuenca cuenta con 28 cauces, pero la longitud total de cauce principal se ha visto afectada en el transcurso de 25 años perdiendo 0.24 Km y su densidad de drenaje es de 3.09 Km / Km<sup>2</sup> en la serie II con una frecuencia de 2.28 Cauce / Km<sup>2</sup>.

Cuadro 9. Red de drenaje de la microcuenca Cañón las Terneras

<b>RED DE DRENAJE</b>	<b>UNIDAD</b>	<b>1975</b>	<b>2000</b>
Orden de cauce		tercero	tercero
Relación de bifurcación		4.88	4.88
Número total de cauces	número	28	28
Longitud total de cauce principal	Km	38.17	37.93
Densidad de drenaje	Km / Km <sup>2</sup>	3.11	3.09
Frecuencia de cauces	Cauce / Km <sup>2</sup>	2.28	2.28

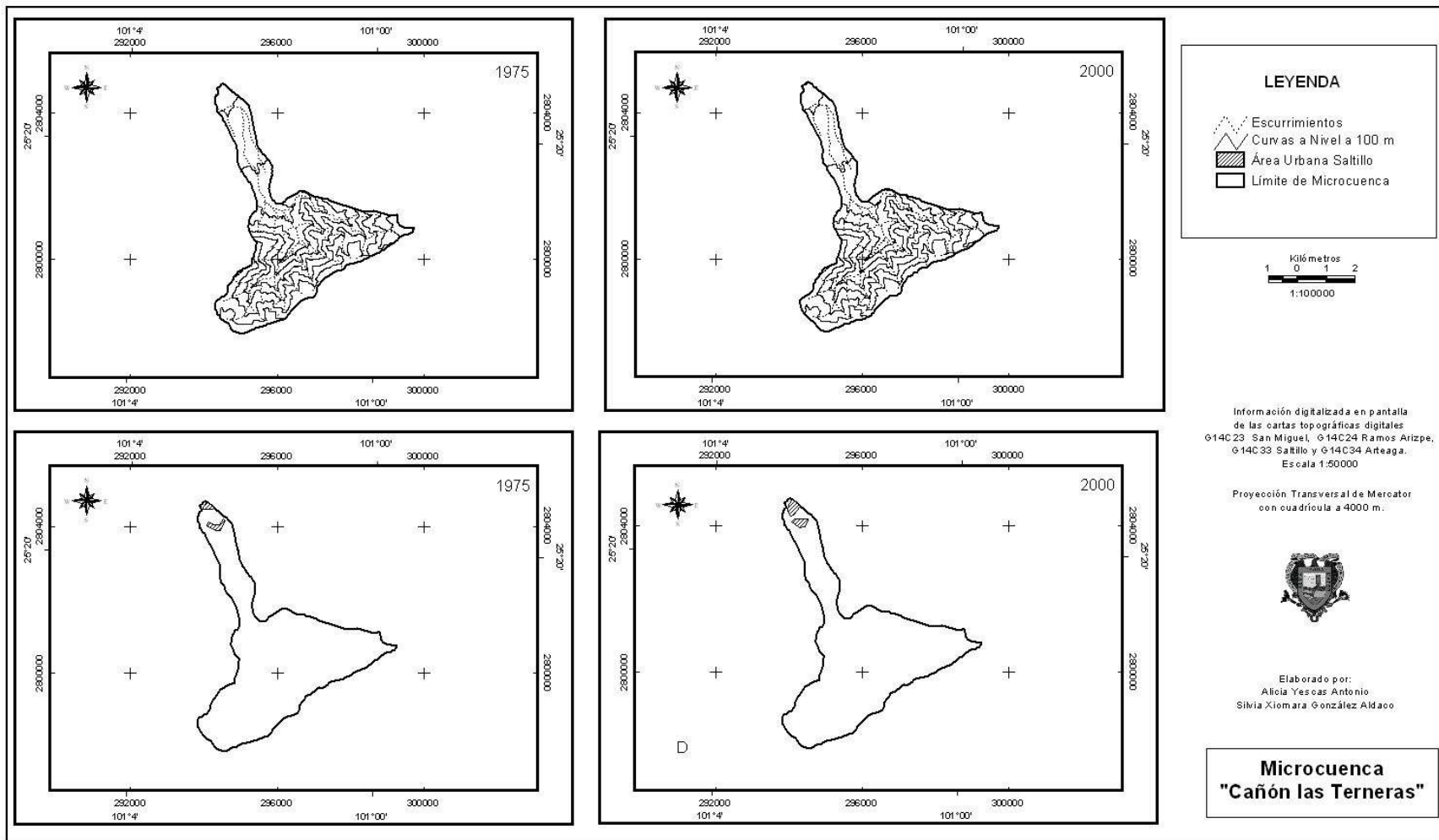


Figura 16. Microcuenca Cañón las terneras

En la figura 17 se aprecia la curva hipsométrica con una elevación mediana de 2320 msnm en la cuál se representa el área media de la cuenca y el comportamiento de la elevación y el área acumulada proyecta que la microcuenca se encuentra en etapa de equilibrio o geológicamente madura considerada también como cuenca de montaña.

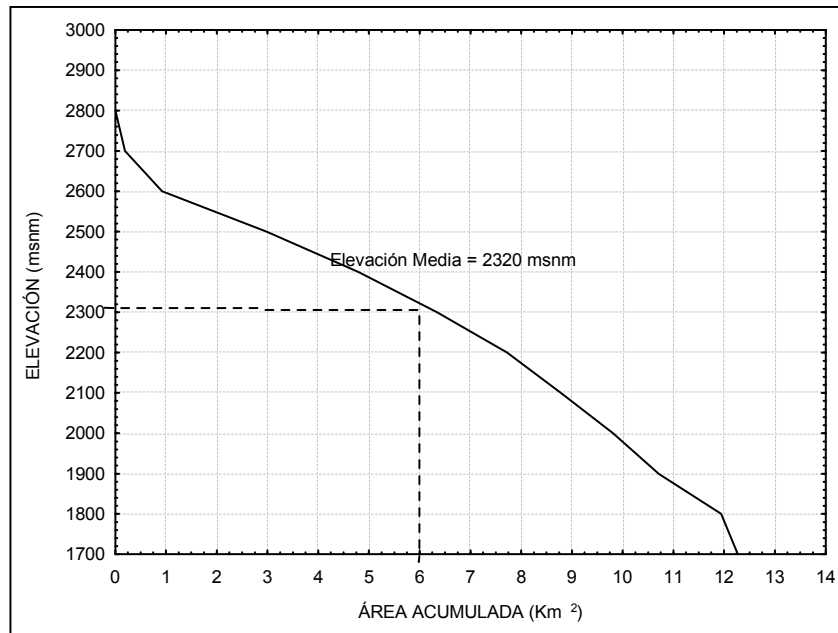


Figura 17. Curva hipsométrica de la microcuenca Cañón las Terneras



## Microcuenca Cañón Salsipuedes

En la figura 18 se observa esta microcuenca con el cambio de uso de suelo así como los cauces de los arroyos y las curvas a nivel de las dos series estudiadas.

Los parámetros de forma y los de relieve debido a que no se modifican se analizaron en una sola serie.

Esta microcuenca cuenta con un área de 5.24 Km<sup>2</sup> que es considerada por su magnitud una microcuenca muy pequeña con un perímetro de 12.98 Km y longitud de 4.93 Km, la forma de la cuenca es de 0.22 y debido al coeficiente de compacidad que es de 1.60 se considera una microcuenca oblonga con una relación de elongación de 0.52 su pendiente media es de 16.95 % y la pendiente y perfil del cauce principal de 10.60 % la cual considera un terreno accidentado medio.

Los parámetros de la red de drenaje (cuadro 10) nos indica que la microcuenca Cañón Salsipuedes pertenece al segundo orden con una relación de bifurcación de 5.00, dicha microcuenca cuenta con 9 cauces, pero la longitud total de cauce principal se ha visto afectada en el transcurso de 25 años perdiendo 0.58 Km y su densidad de drenaje disminuyo 0.11 Km / Km<sup>2</sup> cuenta con una frecuencia de 1.72 Cauce / Km<sup>2</sup>.

Cuadro 10. Red de drenaje de la microcuenca Cañón Salsipuedes

<b>RED DE DRENAJE</b>	<b>UNIDAD</b>	<b>1975</b>	<b>2000</b>
Orden de cauce		segundo	segundo
Relación de bifurcación		5.00	5.00
Número total de cauces	número	9	9
Longitud total de cauce principal	Km	16.16	15.58
Densidad de drenaje	Km / Km <sup>2</sup>	3.08	2.97
Frecuencia de cauces	Cauce / Km <sup>2</sup>	1.72	1.72

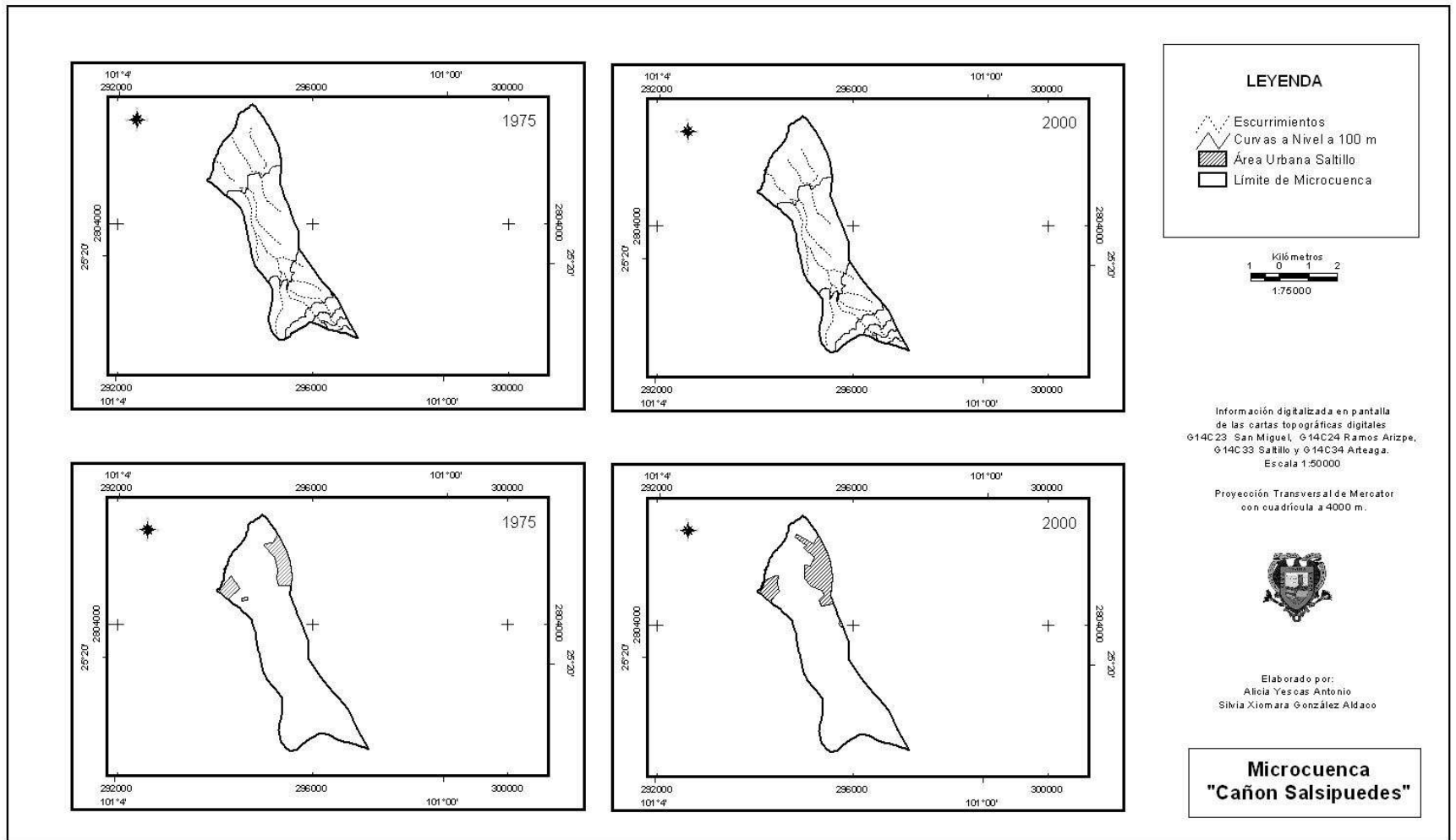


Figura 18. Microcuenca Cañón Salsipuedes

En la Figura 19 se aprecia la curva hipsométrica con una elevación mediana de 1850 msnm en la cuál se representa el área media de la cuenca y el comportamiento de la elevación y el área acumulada proyecta que la microcuenca se encuentra en etapa de erosionada o cuenca de valle.

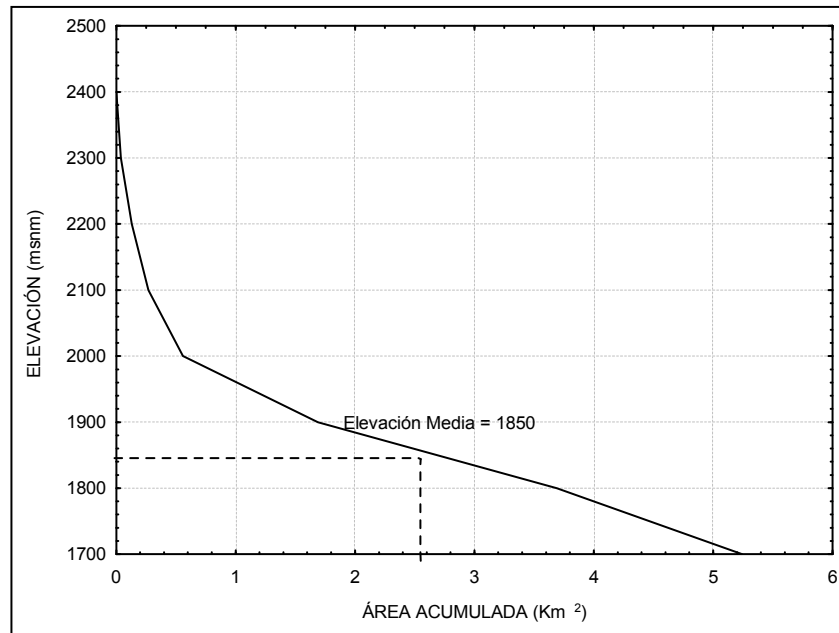


Figura 19. Curva hipsométrica de la microcuenca Cañón Salsipuedes

## Microcuenca C. Espinazo del Diablo

En la figura 20 se observa esta microcuenca con el cambio de uso de suelo así como los cauces de los arroyos y las curvas a nivel de las dos series estudiadas.

Los parámetros de forma y los de relieve debido a que no se modifican se analizaron en una sola serie.

Esta microcuenca cuenta con un área de 6.37 Km<sup>2</sup> que es considerada por su magnitud una microcuenca muy pequeña con un perímetro de 14.70 Km y longitud de 6.40 Km, la forma de la cuenca es de 0.16 y debido al coeficiente de compacidad que es de 1.64 se considera una microcuenca oblonga con una relación de elongación de 0.44 su pendiente media es de 48.74 % y la pendiente y perfil del cauce principal de 16.46 % la cual considera un terreno accidentado.

Los parámetros de la red de drenaje (cuadro 11) nos indica que la microcuenca C. Espinazo del Diablo pertenece al tercer orden con una relación de bifurcación de 3.50, dicha microcuenca cuenta con 10 cauces, pero la longitud total de cauce principal es de 17.23 Km y su densidad de drenaje disminuyo es de 2.70 Km / Km<sup>2</sup> cuenta con una frecuencia de 1.57 Cauce / Km<sup>2</sup>.

Cuadro 11. Red de drenaje de la microcuenca C. Espinazo del Diablo

<b>RED DE DRENAJE</b>	<b>UNIDAD</b>	<b>1975</b>	<b>2000</b>
Orden de cauce		tercero	tercero
Relación de bifurcación		3.50	3.50
Número total de cauces	número	10	10
Longitud total de cauce principal	Km	17.23	17.23
Densidad de drenaje	Km / Km <sup>2</sup>	2.70	2.70
Frecuencia de cauces	Cauce / Km <sup>2</sup>	1.57	1.57

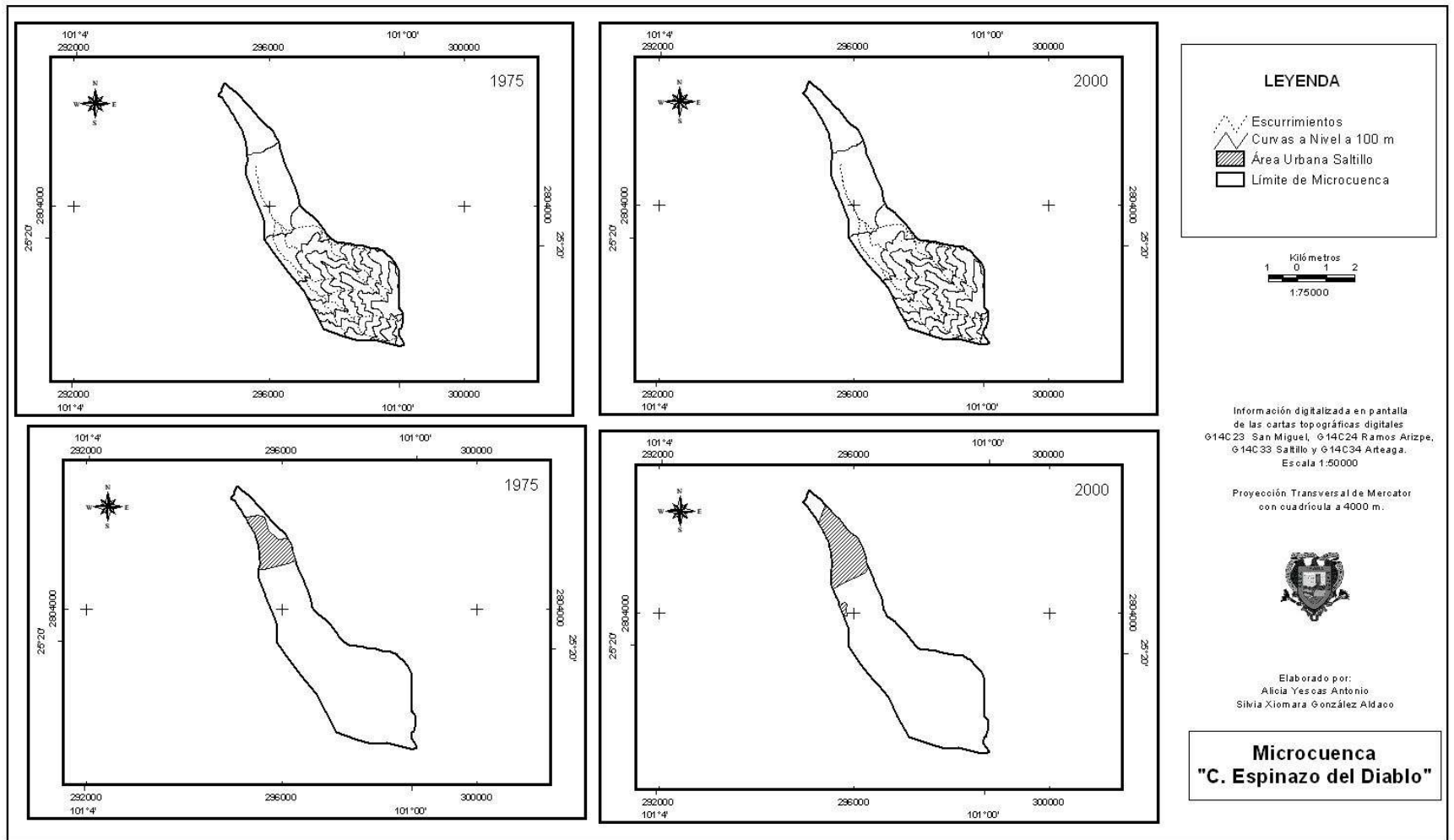


Figura 20. Microcuenca C. Espinazo del Diablo

En la figura 21 se aprecia la curva hipsométrica con una elevación mediana de 2080 msnm en la cuál se representa el área media de la cuenca y el comportamiento de la elevación y el área acumulada proyecta que la microcuenca se encuentra en etapa de equilibrio y geológicamente madura denominada también cuenca de montaña.

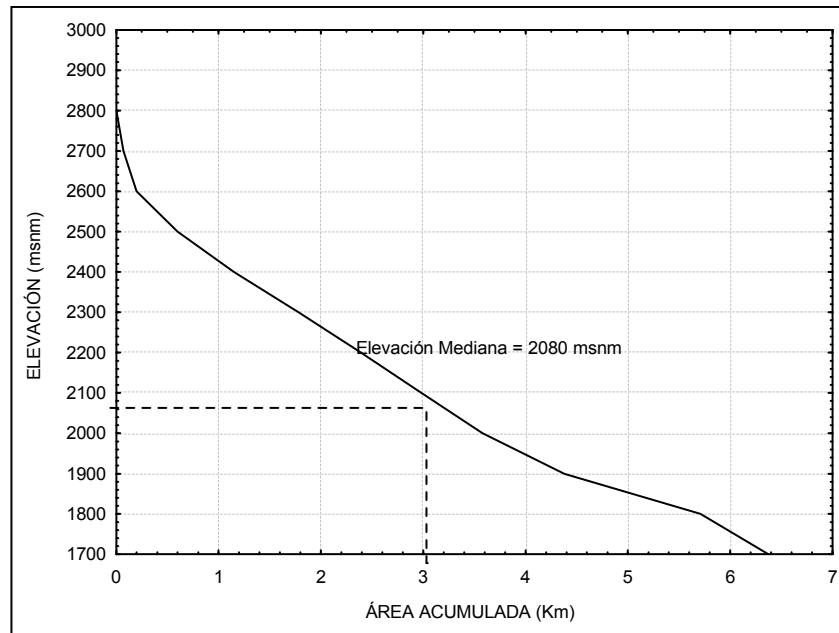


Figura 21. Curva hipsométrica de la microcuenca C. Espinazo del Diablo

## Microcuenca Cañón san Lorenzo

En la figura 22 se observa esta microcuenca con el cambio de uso de suelo así como los cauces de los arroyos y las curvas a nivel de las dos series estudiadas.

Los parámetros de forma y los de relieve debido a que no se modifican se analizaron en una sola serie.

Esta microcuenca cuenta con un área de 36.87 Km<sup>2</sup> que es considerada por su magnitud una microcuenca pequeña con un perímetro de 37.62 Km y longitud de 11.01 Km, la forma de la cuenca es de 0.30 y debido al coeficiente de compacidad que es de 1.75 se considera una microcuenca oblonga con una relación de elongación de 0.62 su pendiente media es de 48.60 % y la pendiente y perfil del cauce principal considera un terreno suave.

Los parámetros de la red de drenaje (cuadro 12) nos indica que la microcuenca Cañón san Lorenzo pertenece al cuarto orden con una relación de bifurcación de 4.63, dicha microcuenca a perdido uno de sus cauces, y su longitud total de cauce principal se ha visto afectado disminuyendo 1.16 Km y su densidad de drenaje disminuyo es de 0.03 Km / Km<sup>2</sup> cuenta con una frecuencia de 3.25 Cauce / Km<sup>2</sup>.

Cuadro 12. Red de drenaje de la microcuenca Cañón san Lorenzo

<b>RED DE DRENAJE</b>	<b>UNIDAD</b>	<b>1975</b>	<b>2000</b>
Orden de cauce		cuarto	cuarto
Relación de bifurcación		4.65	4.63
Número total de cauces	número	121	120
Longitud total de cauce principal	Km	115.57	114.41
Densidad de drenaje	Km / Km <sup>2</sup>	3.13	3.10
Frecuencia de cauces	Cauce / Km <sup>2</sup>	3.28	3.25



Figura 22. Microcuenca Cañón San Lorenzo



En la figura 23 se aprecia la curva hipsométrica con una elevación mediana de 2240 msnm en la cuál se representa el área media de la cuenca y el comportamiento de la elevación y el área acumulada proyecta que la microcuenca se encuentra en etapa de equilibrio y geológicamente madura denominada también cuenca de montaña.

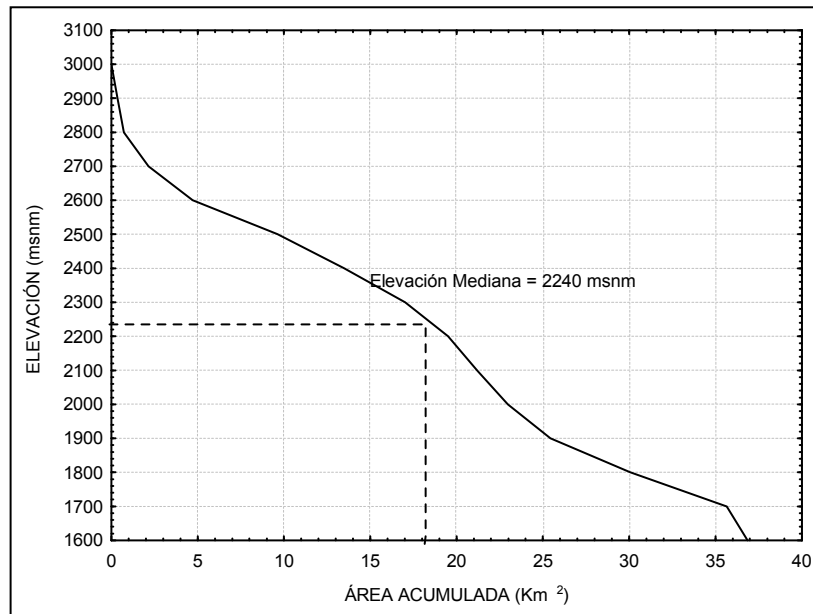


Figura 23. Curva hipsométrica de la microcuenca Cañón san Lorenzo

## Microcuenca San José Del Álamo

En la figura 24 se observa esta microcuenca con el cambio de uso de suelo así como los cauces de los arroyos y las curvas a nivel de las dos series estudiadas.

Los parámetros de forma y los de relieve debido a que no se modifican se analizaron en una sola serie.

Esta microcuenca cuenta con un área de 7.84 Km<sup>2</sup> que es considerada por su magnitud una microcuenca muy pequeña con un perímetro de 17.57 Km y longitud de 7.79 Km, la forma de la cuenca es de 0.13 y debido al coeficiente de compacidad que es de 1.77 se considera una microcuenca oblonga con una relación de elongación de 0.41 su pendiente media es de 15.55 % y la pendiente y perfil del cauce principal indica que la microcuenca era de terreno accidentado medio y después de 25 años se considera un terreno accidentado.

Los parámetros de la red de drenaje (cuadro 13) nos indica que la microcuenca San José Del Álamo pertenece al segundo orden con una relación de bifurcación de 3.00, dicha microcuenca cuenta con 3 cauces, y su longitud total de cauce principal se ha visto afectado disminuyendo 3.85 Km y su densidad de drenaje disminuyo es de 0.49 Km / Km<sup>2</sup> cuenta con una frecuencia de 0.38 Cauce / Km<sup>2</sup>.

Cuadro 13. Red de drenaje de la microcuenca San José Del Álamo

<b>RED DE DRENAJE</b>	<b>UNIDAD</b>	<b>1975</b>	<b>2000</b>
Orden de cauce		segundo	segundo
Relación de bifurcación		3.00	3.00
Número total de cauces	número	3	3
Longitud total de cauce principal	Km	14.17	10.32
Densidad de drenaje	Km / Km <sup>2</sup>	1.81	1.32
Frecuencia de cauces	Cauce / Km <sup>2</sup>	0.38	0.38

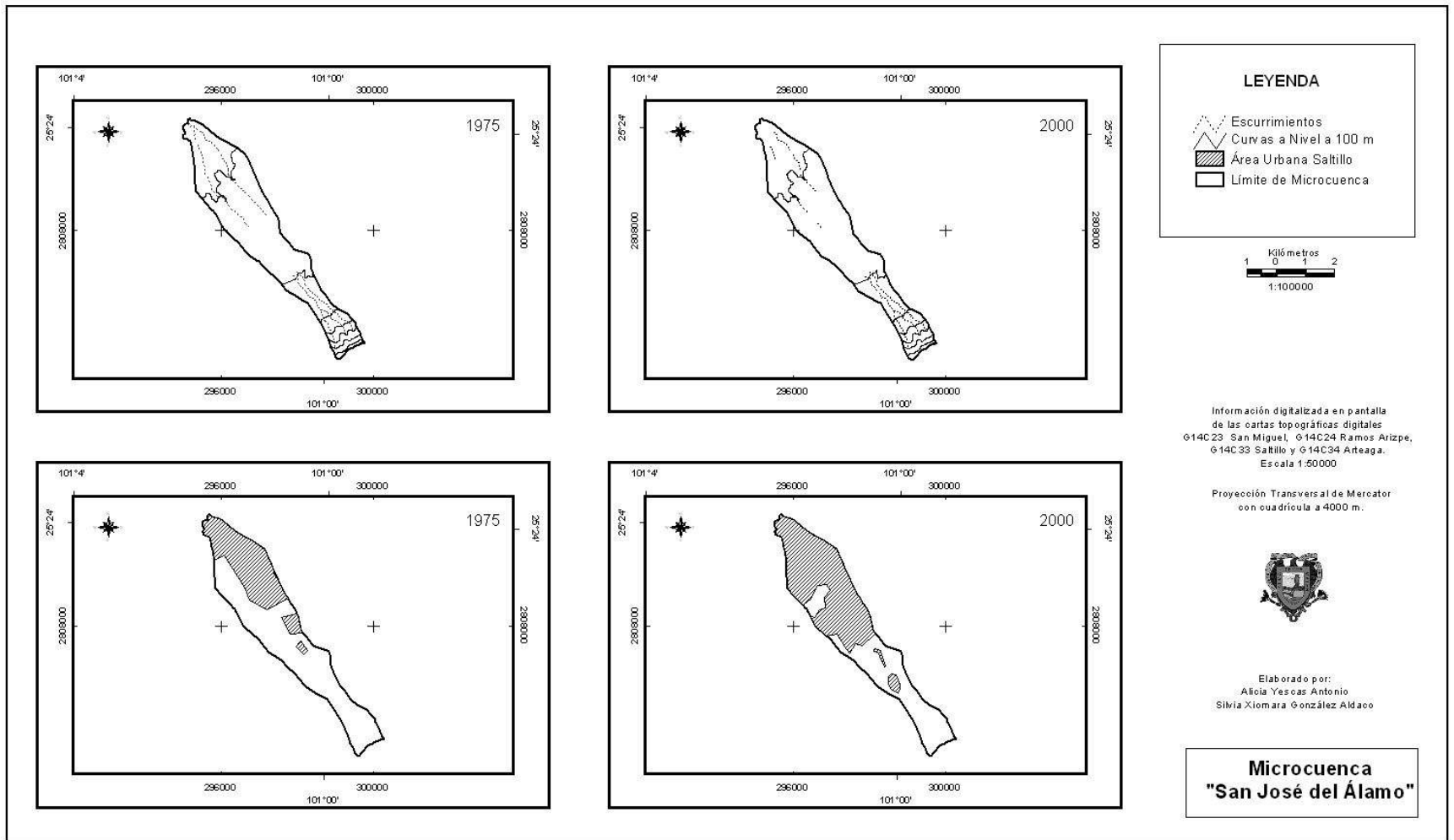


Figura 24. Microcuenca San José del Álamo

En la figura 25 se aprecia la curva hipsométrica con una elevación mediana de 1750 msnm en la cuál se representa el área media de la cuenca y el comportamiento de la elevación y el área acumulada proyecta que la microcuenca se encuentra en etapa de equilibrio y geológicamente madura denominada también cuenca de montaña.

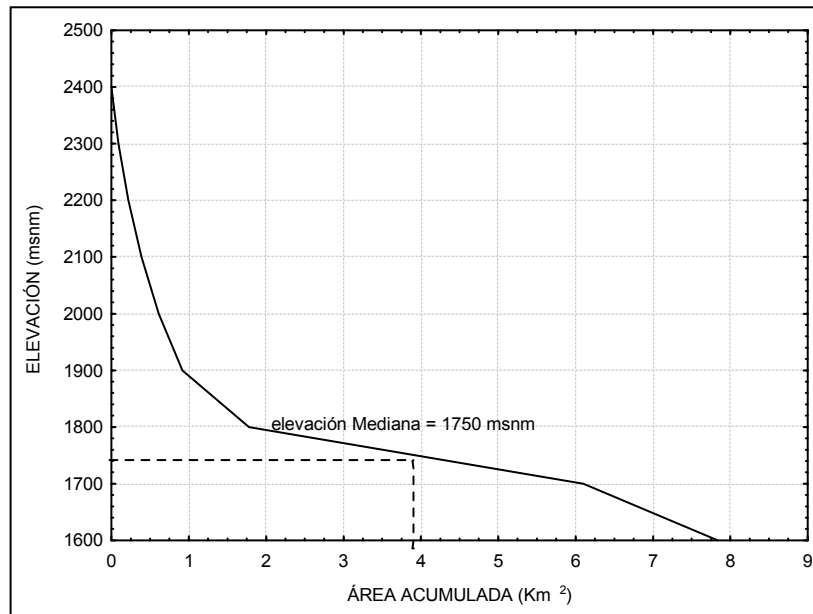


Figura 25. Curva hipsométrica de la microcuenca San José Del Álamo

## Microcuenca Arroyo del Pueblo

En la figura 26 se observa esta microcuenca con el cambio de uso de suelo así como los cauces de los arroyos y las curvas a nivel de las dos series estudiadas.

Los parámetros de forma y los de relieve debido a que no se modifican se analizaron en una sola serie.

Esta microcuenca cuenta con un área de 91.90 Km<sup>2</sup> que es considerada por su magnitud una microcuenca muy pequeña con un perímetro de 51.75 Km y longitud de 19.88 Km, la forma de la cuenca es de 0.23 y debido al coeficiente de compacidad que es de 1.52 se considera una microcuenca oblonga con una relación de elongación de 0.54 su pendiente media es de 13.67 % y la pendiente y perfil del cauce principal de 5.51 % indica que la microcuenca pertenece a un terreno suave.

Los parámetros de la red de drenaje (cuadro 14) nos indica que la microcuenca Arroyo del Pueblo pertenece al cuarto orden con una relación de bifurcación de 4.44 en la serie II dicha microcuenca cuenta con 4 cauces, y su longitud total de cauce principal se ha visto afectado disminuyendo 2.17 Km y su densidad de drenaje es de 1.37 Km / Km<sup>2</sup> en la serie II con una frecuencia de 0.96 Cauce / Km<sup>2</sup> en la serie II.

Cuadro 14. Red de drenaje de la microcuenca Arroyo del Pueblo

<b>RED DE DRENAJE</b>	<b>UNIDAD</b>	<b>1975</b>	<b>2000</b>
Orden de cauce		cuarto	cuarto
Relación de bifurcación		4.50	4.44
Número total de cauces	número	92	88
Longitud total de cauce principal	Km	127.79	125.62
Densidad de drenaje	Km / Km <sup>2</sup>	1.39	1.37
Frecuencia de cauces	Cauce / Km <sup>2</sup>	1.00	0.96

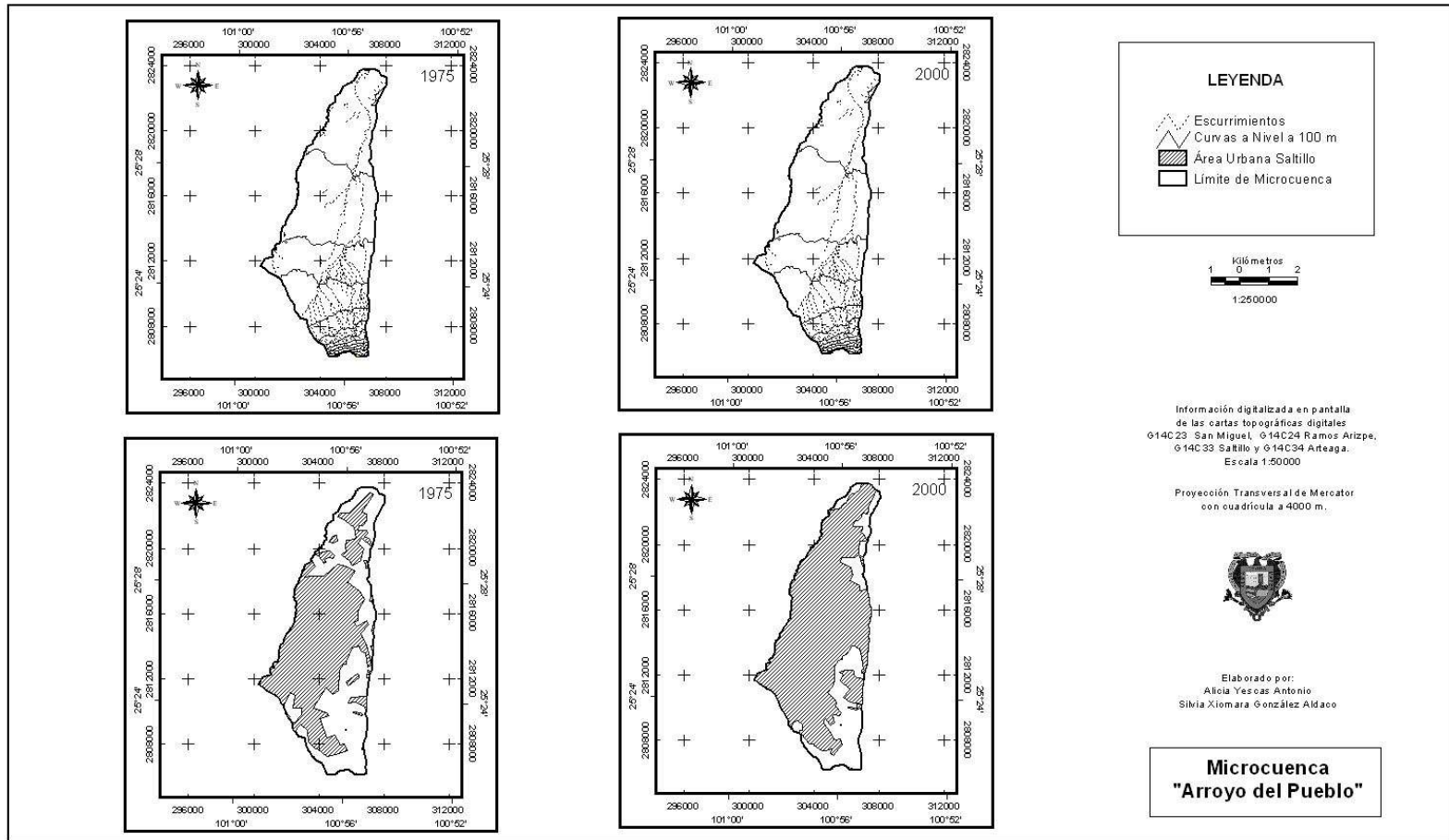


Figura 26. Microcuenca Arroyo el Pueblo

En la figura 27 se aprecia la curva hipsométrica con una elevación mediana de 1540 msnm en la cuál se representa el área media de la cuenca y el comportamiento de la elevación y el área acumulada proyecta que la microcuenca se encuentra en etapa erosionada o denominada cuenca de valle.

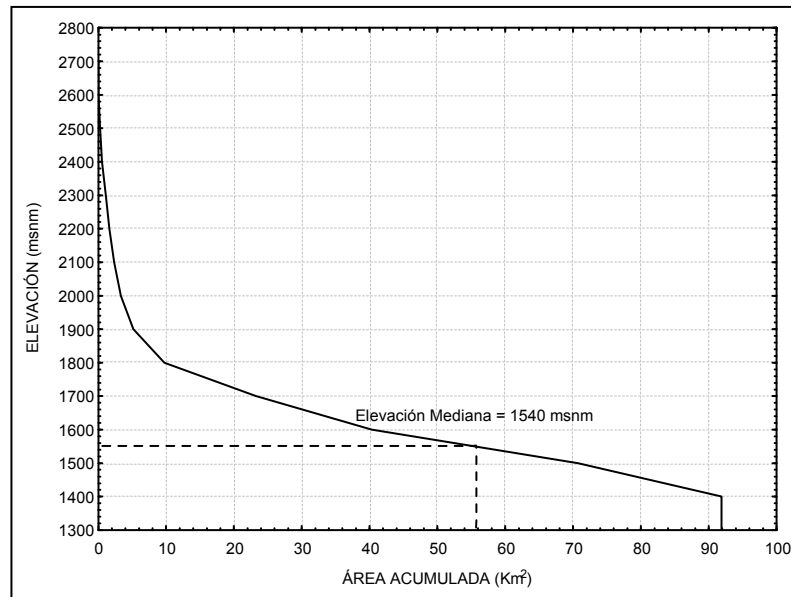


Figura 27. Curva hipsométrica de la microcuenca Arroyo del Pueblo

## Microcuenca Cañada el Cuatro

En la figura 28 se observa esta microcuenca con el cambio de uso de suelo así como los cauces de los arroyos y las curvas a nivel de las dos series estudiadas.

Los parámetros de forma y los de relieve debido a que no se modifican se analizaron en una sola serie.

Esta microcuenca cuenta con un área de 51.14 Km<sup>2</sup> que es considerada por su magnitud una microcuenca pequeña con un perímetro de 37.45 Km y longitud de 15.08 Km, la forma de la cuenca es de 0.22 y debido al coeficiente de compacidad que es de 1.48 se considera una microcuenca ovalada con una relación de elongación de 0.54 su pendiente media es de 28.62 % y la pendiente y perfil del cauce principal presenta un aumento de 2.87 % por lo que el terreno es de tipo accidentado medio.

Los parámetros de la red de drenaje (cuadro 15) nos indica que la microcuenca Cañada el Cuatro pertenece al cuarto orden con una relación de bifurcación de 3.46 en la serie II, dicha microcuenca ha sido afectada ya que a perdido 19 cauces, y su longitud total de cauce principal se ha visto afectado disminuyendo 18.06 Km y su densidad de drenaje es de 2.36 Km / Km<sup>2</sup> en la serie II su frecuencia a disminuido 0.37 Cauce / Km<sup>2</sup> en la serie II.

Cuadro 15. Red de drenaje de la microcuenca Cañada el Cuatro

<b>RED DE DRENAJE</b>	<b>UNIDAD</b>	<b>1975</b>	<b>2000</b>
Orden de cauce		cuarto	cuarto
Relación de bifurcación		3.76	3.46
Número total de cauces	número	111	92
Longitud total de cauce principal	Km	138.79	120.73
Densidad de drenaje	Km / Km <sup>2</sup>	2.71	2.36
Frecuencia de cauces	Cauce / Km <sup>2</sup>	2.17	1.80



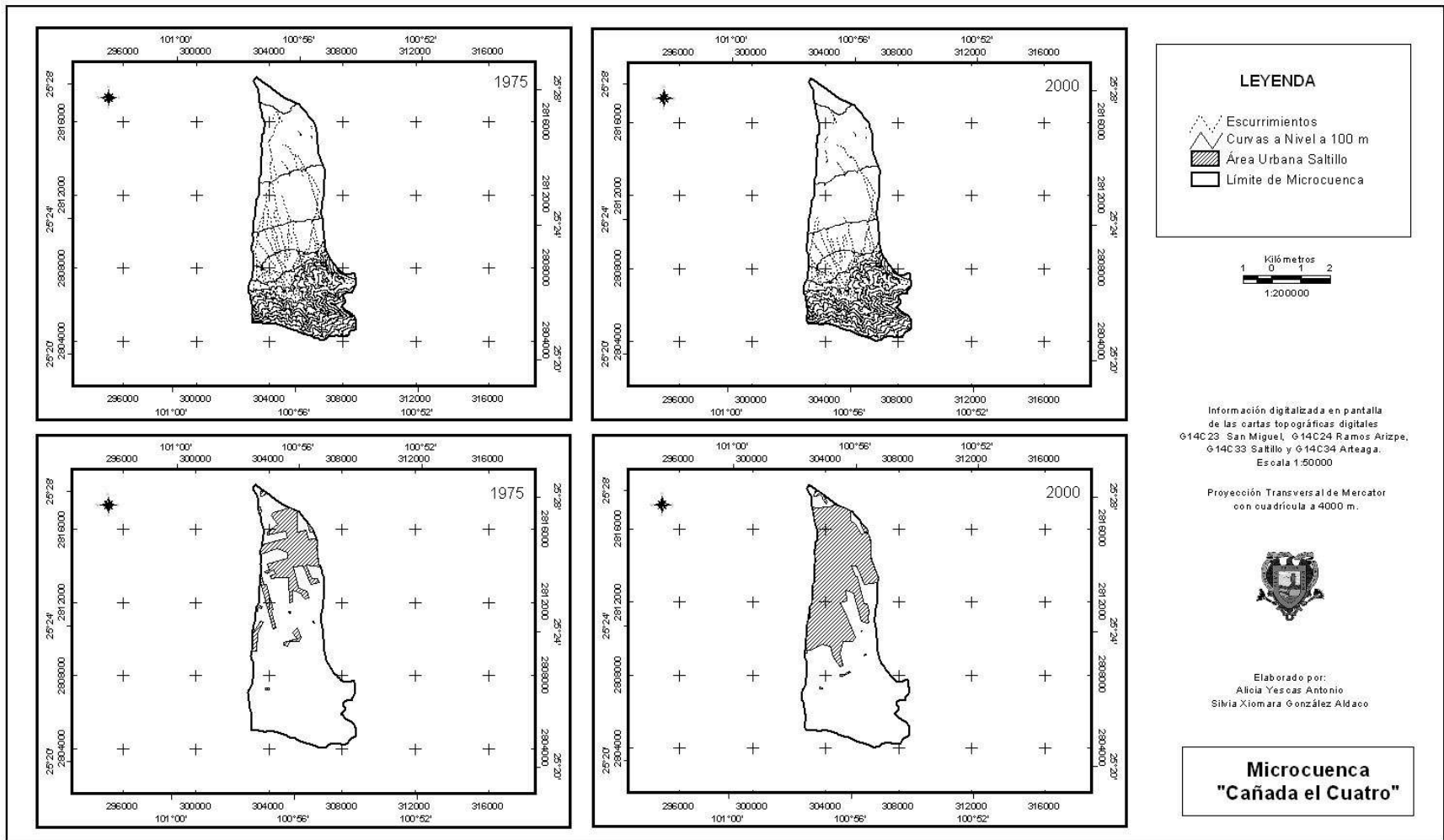


Figura 28. Microcuenca Cañada el Cuatro

En la figura 29 se aprecia la curva hipsométrica con una elevación mediana de 1680 msnm en la cuál se representa el área media de la cuenca y el comportamiento de la elevación y el área acumulada proyecta que la microcuenca se encuentra en etapa erosionada o denominada cuenca de valle.

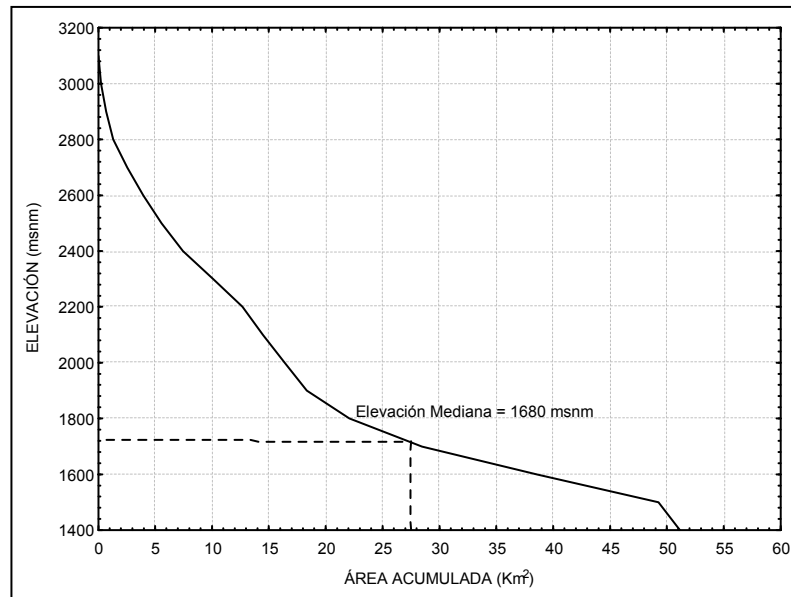


Figura 29. Curva hipsométrica de la microcuenca Cañada el Cuatro

## Microcuenca Cañada Boca de León

En la figura 30 se observa esta microcuenca con el cambio de uso de suelo así como los cauces de los arroyos y las curvas a nivel de las dos series estudiadas.

Los parámetros de forma y los de relieve debido a que no se modifican se analizaron en una sola serie.

Esta microcuenca cuenta con un área de 29.98 Km<sup>2</sup> que es considerada por su magnitud una microcuenca pequeña con un perímetro de 32.73 Km y longitud de 12.96 Km, la forma de la cuenca es de 0.18 y debido al coeficiente de compacidad que es de 1.69 se considera una microcuenca oblonga con una relación de elongación de 0.48 su pendiente media es de 24.54 % y la pendiente y perfil del cauce principal es de 9.26 % por lo que el terreno se considera suave.

Los parámetros de la red de drenaje (cuadro 16) nos indica que la microcuenca Cañada Boca de León pertenece al tercer orden con una relación de bifurcación de 3.20, dicha microcuenca cuenta con 53 cauces, y su longitud total de cauce principal es de 80.92 Km y su densidad de drenaje es de 2.70 Km / Km<sup>2</sup> su frecuencia es de 1.77 Cauce / Km<sup>2</sup>.

Cuadro 16 Red de drenaje de la microcuenca Cañada Boca de León

<b>RED DE DRENAJE</b>	<b>UNIDAD</b>	<b>1975</b>	<b>2000</b>
Orden de cauce		tercer	tercer
Relación de bifurcación		3.20	3.20
Número total de cauces	número	53	53
Longitud total de cauce principal	Km	80.92	80.92
Densidad de drenaje	Km / Km <sup>2</sup>	2.70	2.70
Frecuencia de cauces	Cauce / Km <sup>2</sup>	1.77	1.77

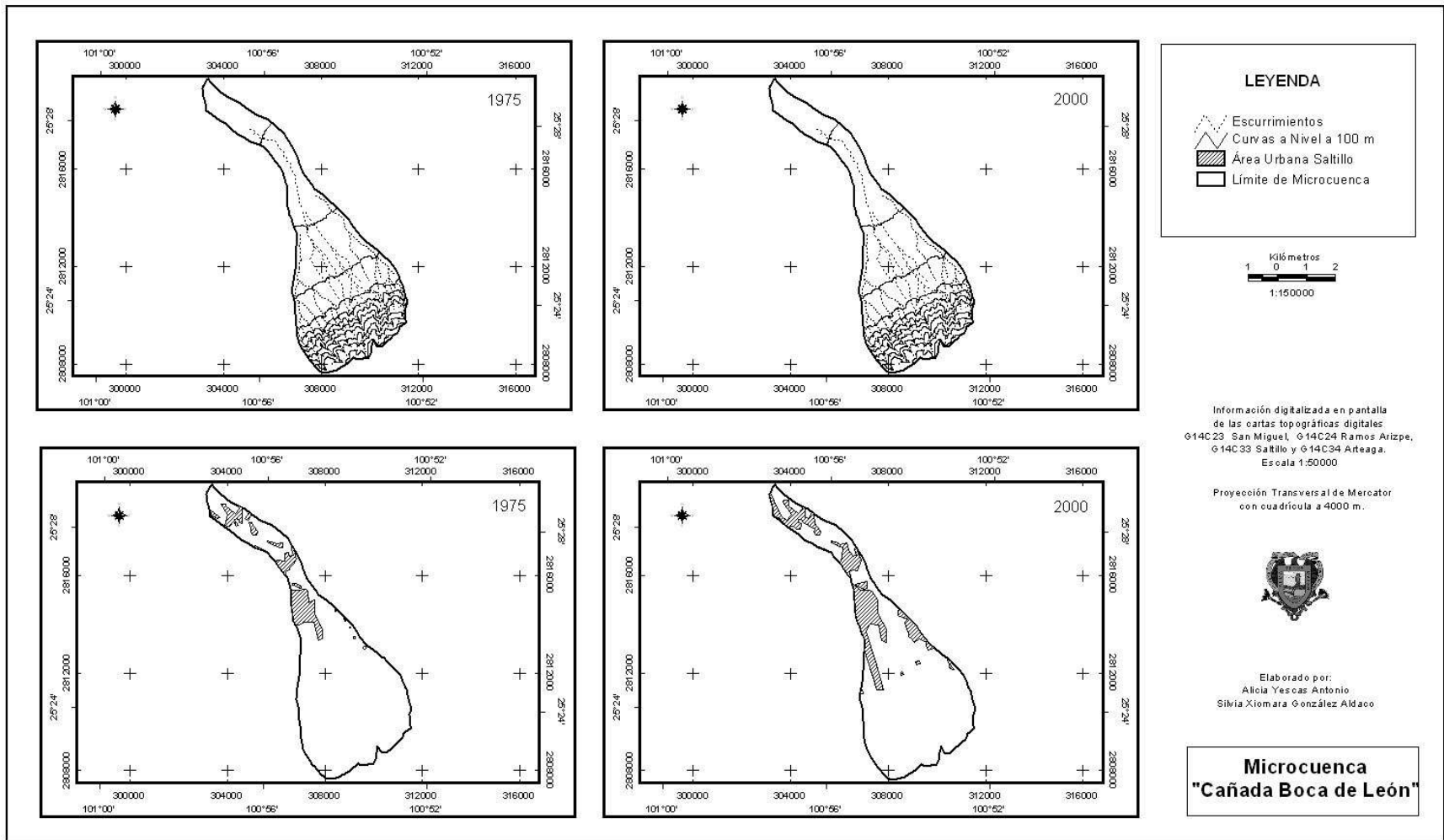


Figura 83. Microcuenca Cañada Boca de León

En la figura 31 se aprecia la curva hipsométrica con una elevación mediana de 1700 msnm en la cuál se representa el área media de la cuenca y el comportamiento de la elevación y el área acumulada proyecta que la microcuenca se encuentra en etapa de equilibrio geológicamente madura considerada también cuenca de montaña.

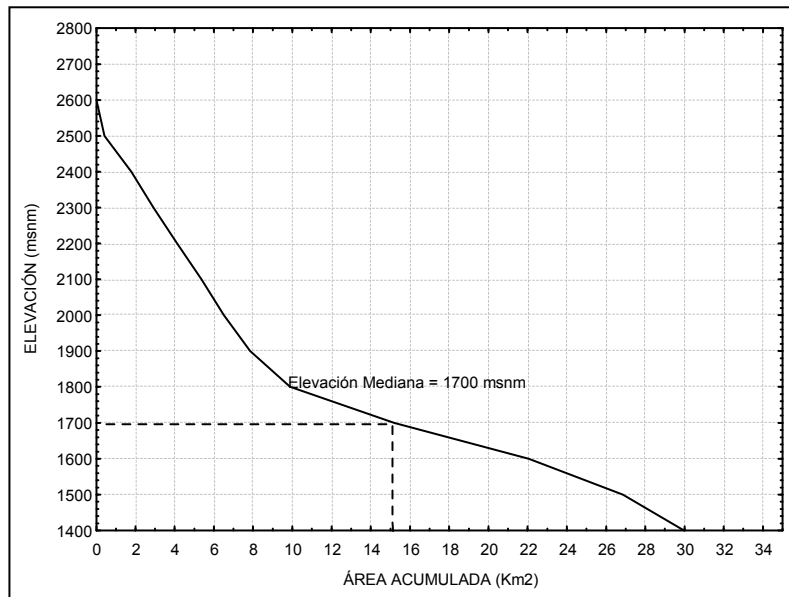


Figura 31. Curva hipsométrica de la microcuenca Cañada Boca de León

## Análisis Multivariado

El análisis multivariado de factores principales indica que los tres factores principales representan el 86.14 % de la varianza acumulada.

El factor 1 representa el 39.96 % y el factor 2 representa el 31.04 %, mientras que, el factor 3 representa sólo el 15.14 % de la varianza total (Cuadro 17).

Cuadro 17. Porcentaje de la varianza total y acumulada.

Factores	Eigenvalores	Varianza total %	Eigenvalores acumulados	Varianza acumulada %
1	2.796893835	39.95562622	2.796893835	39.9556262
2	2.172921845	31.04174065	4.969815681	70.9973669
3	1.059841176	15.14058822	6.029656856	86.1379551

Los resultados del cuadro 18 indica que las variables: Densidad de drenaje (DD), frecuencia de cauces (FC) y elevación (ALT) están relacionadas negativamente con el factor 1, pero muy relacionadas entre sí, mientras que el uso de suelo urbano es la variable que más positivamente esta relacionada con el factor 1. Lo anterior, concuerda con los datos obtenidos, ya que las partes donde se tiene mayor densidad de drenaje y más número de cauces por superficie se localizan en las partes altas de las microcuencas de ahí la relación entre estas tres variables, además de considerar que el uso de suelo urbano ha tenido su mayor crecimiento en las partes bajas de las microcuencas. Por otra parte, el factor 2 se relaciona positivamente al área y al número de cauces, y estos muestran una muy buena relación entre ellos, en contraste la altitud muestra una relación negativa con el factor 2. En el factor 3 la Serie es la variable que muestra mayor significancia y se relaciona positivamente ha este factor, pero no se muestra relación con las otras variables lo que me muestra una diferencia entre años de estudio o serie, pero las variables presentan el mismo comportamiento en las dos series.

Cuadro18. Coeficiente de correlación de las variables con los factores.

Variable	Factor 1	Factor 2	Factor 3
SERIE	0.12231251	0.03080113	0.95660737
AREA	0.34689686	0.92343112	-0.07813054
USU	0.66306637	0.40011283	0.27972743
DD	-0.85916835	0.34496368	0.03174858
FC	-0.85216708	0.35428902	0.09725407
NC	-0.0789259	0.95144598	-0.10015787
ALT	-0.86680491	-0.09689029	0.19973424
Expl.Var	2.79689384	2.17292185	1.05984118
Prp.Totl	0.39955626	0.31041741	0.15140588

En la figura 32 al contrastar el factor 1 con el factor 2 se observa que las variables densidad de drenaje (DD), frecuencia de cauces (FC) y elevación (ALT) muestran una alta correspondencia, mientras que el área y el número de cauces (NC) lo muestran con menos correspondencia, pero similar respuesta mientras que el uso de suelo y la serie se localizan en forma dispersa.

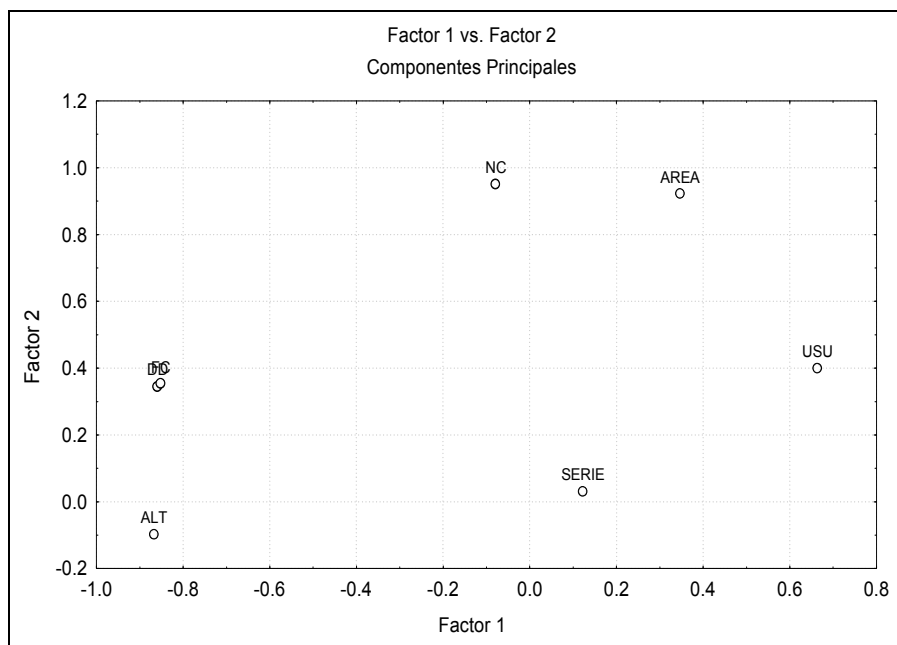


Figura 32. Factor 1 contra factor 2

En la figura 33 al contrastar el factor 1 con el factor 3 se observa que la elevación (ALT), frecuencia de cauces (FC) y variables densidad de drenaje (DD), muestran una alta correspondencia, mientras que el área y el número de cauces (NC) lo muestran con menos correspondencia, pero similar respuesta mientras que el uso de suelo y la serie se localizan en forma dispersa.

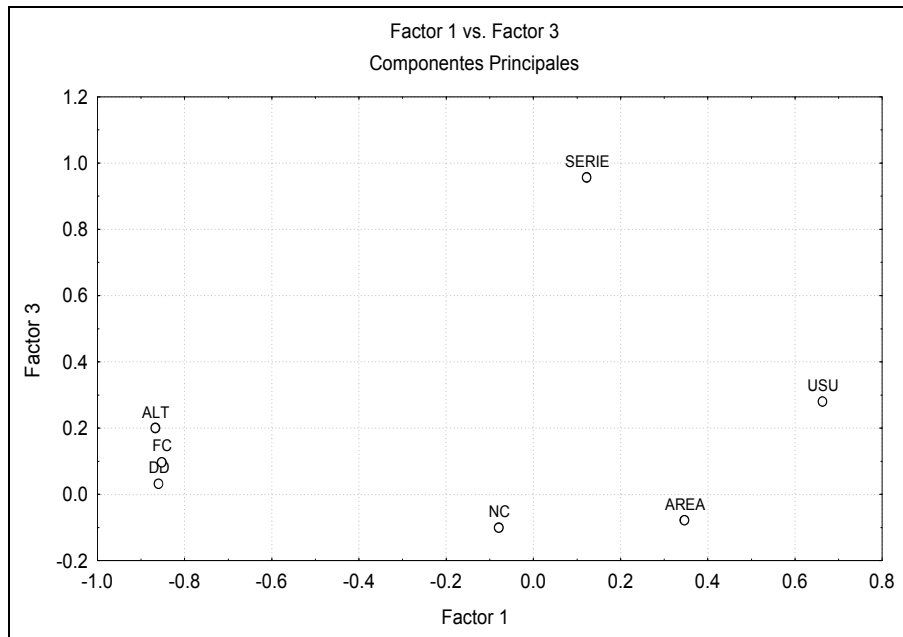


Figura 33. Factor 1 contra Factor 3



En la figura 34 al contrastar el factor 2 con el factor 3 se observa que el área y el número de cauces (NC) muestran una alta correspondencia, mientras que la densidad de drenaje (DD) y frecuencia de cauces (FC) muestran una alta correspondencia acercándose el uso de suelo urbano a estas variables, la serie y la altura se localizan en forma dispersa.

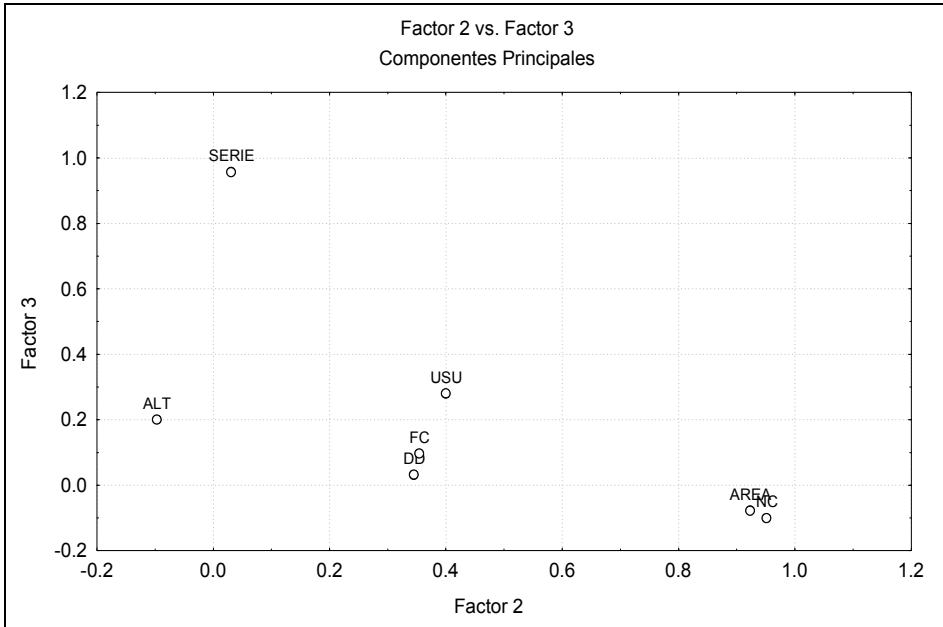


Figura 34. Factor 2 contra factor 3

En el área de estudio la densidad de población se estimó con información del censo de población y vivienda de los años de 1970 y del 2000 y con el área de uso de suelo urbano de las 2 series ya digitalizadas.

En el año de 1970 con una población de 191000 habitantes se estimó que la densidad de población era de 2179.370 Hab./Km<sup>2</sup> dentro de un área de uso de suelo urbano de 87.64 Km<sup>2</sup> y con una densidad de drenaje de 29.55 Km / Km<sup>2</sup>.

Para el año del 2000 la población se incrementó a 578046 por lo que la densidad de población estimada aumentó a 4196.341 Hab/Km<sup>2</sup> en un área de uso de suelo urbano de 137.75 Km<sup>2</sup> y con una densidad de drenaje 28.20 Km / Km<sup>2</sup> por lo que en la figura 35 se puede apreciar la diferencia en la magnitud de uso de suelo urbano dentro del área de estudio.

La tasa estimada de crecimiento demográfico de 1970 al 2000 fue de un aumento del 73.96 % anualmente. La tasa de crecimiento puede deberse a los cambios que sufre la población de acuerdo a los fenómenos demográficos como la migración, natalidad y mortalidad.

La tasa de deforestación que se obtuvo en 25 años fue del 32.395 % lo que significa que la población demográfica aumentó y por consiguiente las áreas verdes disminuyeron o fueron reemplazadas por el uso de suelo urbano.

Cuadro 19 Información total del área de estudio

<b>RED DE DRENAJE</b>	<b>UNIDAD</b>	<b>1975</b>	<b>2000</b>
Densidad de población	Hab/Km <sup>2</sup>	2179.370	4196.341
Población	habitantes	191000	578046
Área total de estudio	Km <sup>2</sup>	430.55	430.55
Uso de suelo urbano	Km <sup>2</sup>	87.64	137.75
Densidad de drenaje	Km / Km <sup>2</sup>	29.55	28.20

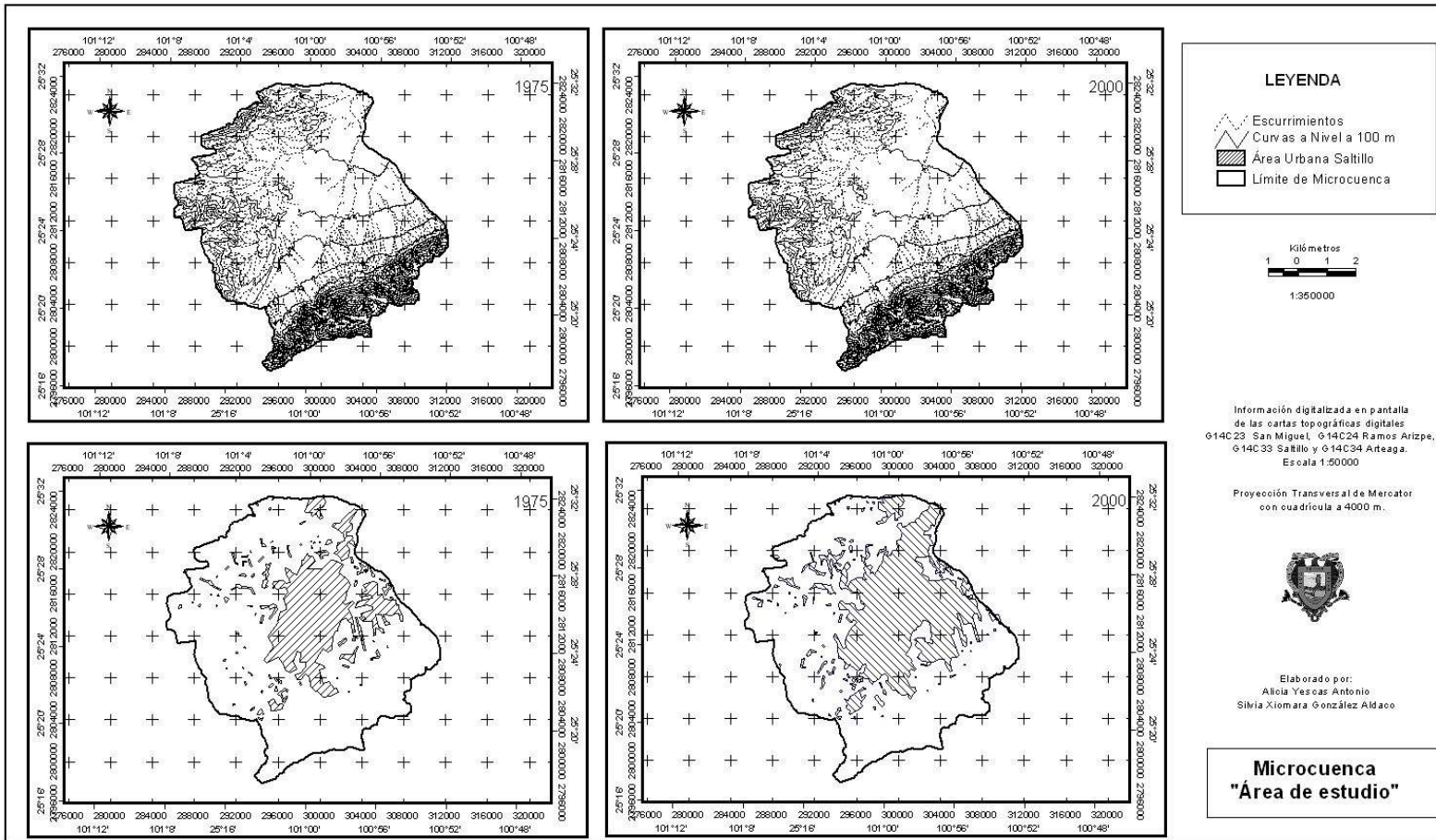


Figura 35. Microcuenca del Área de Estudio

El cálculo del escurrimiento medio anual se realizó mediante la siguiente formula:

$$Vm = A C Pm$$

$Vm$  =Volumen medio anual escurrido (miles de  $m^3$ )

$A$  = Área de uso de suelo urbano

$C$  = Coeficiente de escurrimiento

$Pm$  = Precipitación media anual (400mm)

El coeficiente para el área urbana fue de 100%.

En el cuadro 20 se puede apreciar el volumen medio anual escurrido para las dos series del uso de suelo urbano para cada microcuenca estudiada.

En 1975 el uso de suelo urbano era de 87.624  $Km^2$  con un escurrimiento de 3504960 y para el 2000 al crecer el uso de suelo urbano el escurrimiento aumento a 5511480  $m^3$ .

Cuadro 20. Escurrimiento medio anual del uso de suelo urbano

Microcuenca	Área USU $Km^2$ 1975	Área USU $Km^2$ 2000	Vm Miles de $m^3$ año 1975	Vm Miles de $m^3$ año 2000
El Mulato	5.976	11.578	239040	463120
Palma Gorda Baja	2.124	4.33	84960	173200
Arroyo Saltillo 2	4.773	6.083	190920	243320
Arroyo Saltillo1	4.631	5.706	185240	228240
Agua de las Mulas	0.748	3.809	29920	152360
Cañón las Terneras	0.107	0.159	4280	6360
Cañón Salsipuedes	0.396	0.655	15840	26200
C. Espinazo del Diablo	0.549	0.878	21960	35120
Cañón San Lorenzo	1.206	2.777	48240	111080
San José del Álamo	2.742	4.652	109680	186080
Arroyo del Pueblo	53.029	71.948	2121160	2877920
Cañada el Cuatro	8.876	20.543	355040	821720
Cañada Boca de León	2.467	4.669	98680	186760
TOTAL	87.624	137.787	3504960	5511480

## CONCLUSIONES

De acuerdo a los resultados obtenidos en éste área de estudio se concluye lo siguiente:

En el área de estudio de las 13 microcuencas en el año de 1975 o de la serie I se contaba con un área de uso de suelo urbano total de 87.624 Km<sup>2</sup> y en el transcurso de 25 años el área de uso de suelo urbano incremento a 137.787 Km<sup>2</sup> generando una tasa de deforestación del 32.395 % .

Microcuenca	Área VA Km <sup>2</sup> 1975	Área USU Km <sup>2</sup> 2000	C	Vm Milesde m <sup>3</sup> año 1975	Vm Miles de m <sup>3</sup> año 2000
El Mulato	70.754	65.152	35	990556	912128
Palma Gorda Baja	46.346	44.14	35	648844	617960
Arroyo Saltillo 2	2.117	0.807	36	30484.8	11620.8
Arroyo Saltillo1	2.409	1.334	36	34689.6	19209.6
Agua de las Mulas	49.062	46.001	36	706492.8	662414.4
Cañón las Terneras	12.163	12.111	35	170282	169554
Cañón Salsipuedes	4.844	4.585	35	67816	64190
C. Espinazo del Diablo	5.821	5.492	35	81494	76888
Cañón San Lorenzo	35.664	34.093	35	499296	477302
San José del Álamo	5.098	3.188	36	73411.2	45907.2
Arroyo del Pueblo	38.871	19.952	36	559742.4	287308.8
Cañada el Cuatro	42.264	30.597	36	608601.6	440596.8
Cañada Boca de León	27.513	25.311	36	396187.2	364478.4
TOTAL	342.926	292.763		4867897.6	4149558

- ❖ La tasa de crecimiento demográfica obtenida de 1970 al 2000 nos arrojo una información del crecimiento en un 73.96 % anualmente de la población.
- ❖ La densidad de población estimada para 1970 fue de 2179.37015 hab/Km<sup>2</sup> considerada como una población escasa y para el 2000 fue de 4196.341 hab/km<sup>2</sup> consideradas esta cifra como una población intensa

teniendo como consecuencia que se causan mayores presiones demográficas sobre el suelo y los recursos

- ❖ En el análisis multivariado factorial el primer factor representa el 39.96 %, el segundo un 31.04 y el tercero solo representa el 15.14 % haciendo una varianza total de 86.14 %.
- ❖ En el primer factor la densidad de drenaje, frecuencia de cauces, y la elevación se encuentran relacionados entre si pero en el segundo factor el área y el numero de cauces tienen una relación entre si debido a que a mayor área existen mayor numero de cauces.
- ❖ La longitud del cauce principal de las microcuencas en 1975 era de 981.65 Km y para el 2000 esta cifra bajo a 950.58 Km por lo que su perdida en 25 años fue de un total de 31.07 Km.
- ❖ El escurrimiento medio anual del uso de suelo urbano para 1975 fue de 3504960 y para el año 2000 fue de 5511480 expresados en miles de m<sup>3</sup>

## RECOMENDACIONES

- ❖ Se recomienda que se respeten los cauces dentro del área metropolitana ya que si estos no se respetan y se pierden causan que exista una menor densidad de drenaje.
- ❖ Con la información obtenida del área de estudio se pueden tomar nuevas medidas para la planeación del desarrollo urbano.
- ❖ Las cuencas deben de ser tratadas en las partes altas para reducir el escurrimiento que llega a la ciudad.
- ❖ Las inundaciones se dan por causa del aumento del uso de suelo urbano que obstruyen los cauces sin contemplaciones de próximas avenidas.
- ❖ El desarrollo urbano no debe de invadir los cauces que aparentemente no llevan agua.

## RESUMEN

El estudio se llevo acabó en el sureste del estado de Coahuila incluye la ciudad de Saltillo y 13 microcuencas que la impactan, se utilizaron mapas de la serie de 1975 y del 2000.

Tiene como objetivo general analizar los cambios del subsistema natural y del subsistema social y urbano, así como, de las características morfológicas en 25 años de 13 microcuencas hidrológicas que impactan la Ciudad de Saltillo.

Las microcuencas que impactan la Ciudad de Saltillo pertenecen a la región hidrológica RH24 de la cuenca B y subcuenca e.

Para poder analizar los cambios en un lapso de 25 años se empleo la metodología que se basa en el desarrollo de un procedimiento de delimitación de microcuencas, digitalización, obtención del indicador del subsistema natural e indicadores del subsistema social y urbano-regional, y de las características morfológicas de las microcuencas así como de la realización de un análisis multivariado.

Los resultados que se obtuvieron son los siguientes: que en un lapso de 25 años se genero un 32.395 % de deforestación por el aumento del uso de suelo dentro del área de estudio, desde 1970 el aumento estimado de la población se de en un 73.96 % anual.

Esta área de estudio cuenta con cuencas del primer, segundo, tercer, cuarto y quinto orden, la longitud del cauce principal de las microcuencas en 1975 era de 981.65 Km y para el 2000 esta cifra bajo a 950.58 Km por lo que su perdida en 25 años fue de un total de 31.07 Km.

Se recomienda tratar a las cuencas en las partes altas para reducir el escurrimiento que llega a la ciudad así como evitar que el desarrollo urbano invada los cauces que aparentemente no conducen agua.



## LITERATURA CITADA

- Aparicio M., F. J. 1994. Fundamentos de hidrológica de Superficie. Ed. LIMUSA, S.A. México. 303p.
- Becerra, M. A. 1999 Escorrentía, Erosión y Conservación de Suelos. UACH. Chapingo, Edo. De México. 376p.
- Black, P.E. 1996. Watersed hydrology, Chelsa, Michigan. 435p.
- Chuvieco, E. 1990. Fundamentos de Teledetección Espacial, Edit. Rialp, S.A. Madrid España 449p.
- Comisión de Estudios del Territorio Nacional (CETENAL). 1975, Carta topográfica G14-C23. Escala 1:50 000. Secretaria de la presidencia México. 1h.
- Comisión de Estudios del Territorio Nacional (CETENAL). 1975, Carta topográfica G14-C24. Escala 1:50 000. Secretaria de la presidencia México. 1h.
- Comisión de Estudios del Territorio Nacional (CETENAL). 1975, Carta topográfica G14-C33. Escala 1:50 000. Secretaria de la presidencia México. 1h.
- Comisión de Estudios del Territorio Nacional (CETENAL). 1975, Carta topográfica G14-C34. Escala 1:50 000. Secretaria de la presidencia México. 1h.
- Deagostini R.E. 1978 Introducción a la Fotogrametría. Publicaciones cultural LTDA, Bogota, Colombia. 245p.

- Elfatih A. B. Eltahir. 1996. El Niño and the variability in the Nile River. *Water Resources Research*, Vol 32, No.1, 131-137 pag.
- FAO 1996. *Forest resources assessment 1990. Survey of tropical forest cover and study of change processes*. Rome, Italy. 152 p.
- García, E. 1973. *Modificaciones para el Sistema de Clasificación Climática Koopen*. 1ª. Edición UNAM, México. 246p.
- Gómez, G. S. E. 2003. *Caracterización Morfológica de la Microcuenca las Terneras al sureste de Coahuila*. Tesis. Licenciatura. UAAAN Buenavista Saltillo Coahuila. México 54p.
- Gómez Orea, D. 2001 *Ordenación territorial*. Ediciones Mundi – Prensa / Editorial Agrícola Española, Madrid, España. 704 p.
- González, T. M. y García, J.L.D. 1998. *Restauración de Ríos y Riberas*. ATIM. Madrid España 319p.
- Holechek, J. L., R.A. Cole, J. T. Fisher, and R. Valdez. 2003. *Natura Resources. Ecology, Economics and Policy*. 2d. Ed. 761p.
- Horton, R.E. 1932. *Drainage basin characteristics*. *Transactions of the American Geophysical Union*, nº 13, pp. 350-361.
- Horton, R.E. 1945. *Erosional development of streams and their drainage basins; hydrophysical approach to quantitative morphology*. *Bulletin of the Geological Society of America*, nº 56, pp. 275-370.
- Instituto Nacional de Estadística Geografía e Informática (INEGI). 1983. *Información General de la Mapoteca*. Instituto Nacional de Estadística, Geografía, e Informática. Gobierno del Estado de Coahuila. Mexico DF.

- Instituto Nacional de Estadística Geografía e Informática (INEGI). 1996. Información General de la Mapoteca. Instituto Nacional de Estadística, Geografía, e Informática. Gobierno del Estado de Coahuila. Aguascalientes, Ags.
- Instituto Nacional de Estadística Geografía e Informática (INEGI). 1999. Información General de la Mapoteca. Instituto Nacional de Estadística, Geografía, e Informática. Gobierno del Estado de Coahuila. Aguascalientes, Ags. 55p.
- Instituto Nacional de Estadística Geografía e Informática (INEGI). 2000. Información General de la Mapoteca. Instituto Nacional de Estadística, Geografía, e Informática. Gobierno del Estado de Coahuila. Aguascalientes, Ags.
- Instituto Nacional de Estadística Geografía e Informática (INEGI). 2000. Censo General de Población y Vivienda. Gobierno del estado de Coahuila.
- Instituto Nacional de Estadística Geografía e Informática (INEGI). 2003. Información General de la Mapoteca. Instituto Nacional de Estadística, Geografía, e Informática. Gobierno del Estado de Coahuila. Aguascalientes, Ags.
- Kostadinov S.C. and S.S. Mitrovic. 1994. Effect of Forest Cover on the Stream Flow From Small Watersheds. *Journal of Soil and Water Conservation*. 49 (4) 382-386.
- Leopold, L. B. 1994. *A View of the River*. Harvard University Press, Cambridge, Massachusetts.

- Maddock, t.s. and Water, G. H. 1995 Meeting Future Public Water Supply Needs. Water Resources Bolletin. American Water Resources Association Vol. 31 No.2 abril 317-329 pag.
- Maderey, L. E. 1970. Características Físicas de la cuenca del Río Tizar. Instituto de Geografía de la UNAM 3:29-38.
- Manly, B. F. J. 1986. Multivariate Statistical Methods. Chapman and Hall. United States of American.
- Secretaria del Medio Ambiente y Recursos Naturales (SEMARNAT) 2001. Programa Nacional Hidráulico 2001 - 2006. 128p.
- Secretaria de Programación y Presupuesto (SPP). 1981. coordinación General de los servicios Nacionales de Estadística, Geografía e Informática Monterrey.
- Strahler, A.N. 1964. Quantitative geomorphology of drainage basins and channel networks. In Chow, V.T. (Ed.): *Handbook of applied hydrology*. 4-39/4-76.
- Parra, O. 1988. Bases ecológicas para el manejo integral en la hoya del río Biobío. Editorial Universidad de Concepción 21-29 p.
- Ward, R.C. y Robinson, M. 2000. *Principles of Hydrology*. Suffolk, McGraw-Hill, 360 pp.