

**ANÁLISIS MORFOMÉTRICO DE CUENCAS:
CASO DE ESTUDIO DEL PARQUE NACIONAL
PICO DE TANCÍTARO***



* ESTUDIO CONTRATADO A: JOSÉ DE JESÚS ALFONSO FUENTES JUNCO

**Dirección General de Investigación de Ordenamiento Ecológico
y Conservación de Ecosistemas**

INSTITUTO NACIONAL DE ECOLOGÍA

Julio, 2004

CONTENIDO

		Página
1.	INTRODUCCIÓN	
1.1	<i>Área de estudio y enfoque</i>	
1.2	<i>Características generales del Parque Nacional Pico de Tancítaro</i>	
1.3	<i>Importancia del Pico de Tancítaro</i>	
2.	Métodos	
2.1	<i>Índices y parámetros morfométricos</i>	
2.2	<i>Cálculo y clasificación de los índices y parámetros utilizados</i>	
2.2a	<i>Longitud del cauce principal</i>	
2.2b	<i>Elevación media de la cuenca</i>	
2.2c	<i>Método Area – elevación</i>	
2.2d	<i>Área</i>	
2.2e	<i>Desnivel altitudinal</i>	
2.2f	<i>Coefficiente de forma (K_f)</i>	
2.2g	<i>Coefficiente de compacidad (K_c)</i>	
2.2h	<i>Índice de alargamiento (I_a)</i>	
2.2i	<i>Coefficiente de masividad (K_m)</i>	
2.2j	<i>Orden de corriente</i>	
2.2k	<i>Densidad de drenaje (D_d)</i>	
2.2l	<i>Número de Escurrimientos</i>	
2.2m	<i>Pendiente del cauce principal</i>	
2.2n	<i>Tiempo de concentración (T_c)</i>	
2.2o	<i>Población</i>	
2.2p	<i>Disponibilidad de agua</i>	
3.	ANÁLISIS DE RESULTADOS POR CUENCA	
3.1	<i>Características morfométricas e índices por cuencas</i>	
3.1a	<i>Cuenca Apo</i>	
3.1b	<i>Cuenca Chondo</i>	
3.1c	<i>Cuenca Chuanito</i>	
3.1d	<i>Cuenca Rodada</i>	
3.1e	<i>Cuenca Cutío</i>	
3.1f	<i>Cuenca El Chivo</i>	
3.1g	<i>Cuenca Hoyicazuela</i>	
3.1h	<i>Cuenca Huandiestacato</i>	
3.1i	<i>Cuenca La Culebra</i>	
3.1j	<i>Cuenca La Gringa</i>	
3.1k	<i>Unidad hidrológica Lavas del Paricutín</i>	
3.1l	<i>Cuenca Nureto</i>	
3.1m	<i>Cuenca San Francisco</i>	
3.1n	<i>Cuenca Tancítaro</i>	
3.1o	<i>Cuenca Zacándaro</i>	
3.1p	<i>Cuenca Zirimóndiro</i>	
4.	CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	

4.1	<i>Conclusiones</i>	
4.2	<i>Recomendaciones</i>	
5.	BIBLIOGRAFÍA	

Análisis Morfométrico de las cuencas del Pico de Tancítaro

1. Introducción

Una de las herramientas más importantes en el análisis hídrico es la morfometría de cuencas (Maidment, 1992; Verstappen, 1983; Campos, 1992, Gregory and Walling, 1985) ya que nos permite establecer parámetros de evaluación del funcionamiento del sistema hidrológico de una región.

Dicha herramienta puede servir también como análisis espacial ayudando en el manejo y planeación de los recursos naturales (López Blanco, 1989) al permitirnos, en el marco de una unidad bien definida del paisaje, conocer diversos componentes como el tamaño de la cuenca, la red de drenaje, la pendiente media, el escurrimiento, etcétera.

Dichos componentes pueden ser obtenidos y modelados mediante el uso de sistemas de información geográfica. Y, convenientemente combinados con la geomorfología, puede obtenerse un diagnóstico hidrológico útil para la planeación ambiental.

El objetivo de este estudio es obtener y analizar los parámetros morfométricos de las cuencas del parque nacional Pico de Tancítaro.

Este tipo de estudios puede ayudar a establecer las bases hidrológicas del análisis ambiental en el Pico de Tancítaro con miras a la planeación y ordenamiento del parque nacional.

Para lograr lo anterior, se realizó la división en cuencas hidrológicas del Pico de Tancítaro y se aplicaron y compararon un total de seis índices hidrológicos y nueve parámetros hidrológicos.

Los índices fueron los siguientes: el índice de forma, el de alargamiento, el de compacidad, el de masividad, el de densidad de drenaje y el de elevación media de la cuenca; los parámetros medidos fueron: el área, desnivel altitudinal, el orden de corrientes por cuenca, la densidad de drenaje, el número de escurrimientos por cuenca, pendiente media del cauce principal, el tiempo de concentración, la densidad poblacional y la disponibilidad de agua obtenida como la relación entre densidad y poblacional y cantidad de agua por cuenca.

Otros parámetros y elementos fueron obtenidos como paso previo a la obtención de los ya mencionados pero que no son analizados debido a que están contenidos en los anteriores: red de drenaje, curvas de nivel, delimitación de las cuencas, ancho y largo de la cuenca.

Posteriormente se compararon entre sí cada una de las cuencas obteniéndose clases de valores para homogeneizar los datos y así generar el análisis correspondiente.

1.1 Área de estudio y enfoque

1.2 Características generales del Parque Nacional Pico de Tancítaro.

El Parque Nacional Pico de Tancítaro (PNPT), se localiza al oeste del estado de Michoacán. Incluyendo las cuencas del área de estudio, se localiza entre las coordenadas 19°34'52''N, 102°10'10''W y 19°16'35''N, 102°27'22''W (figura 1).

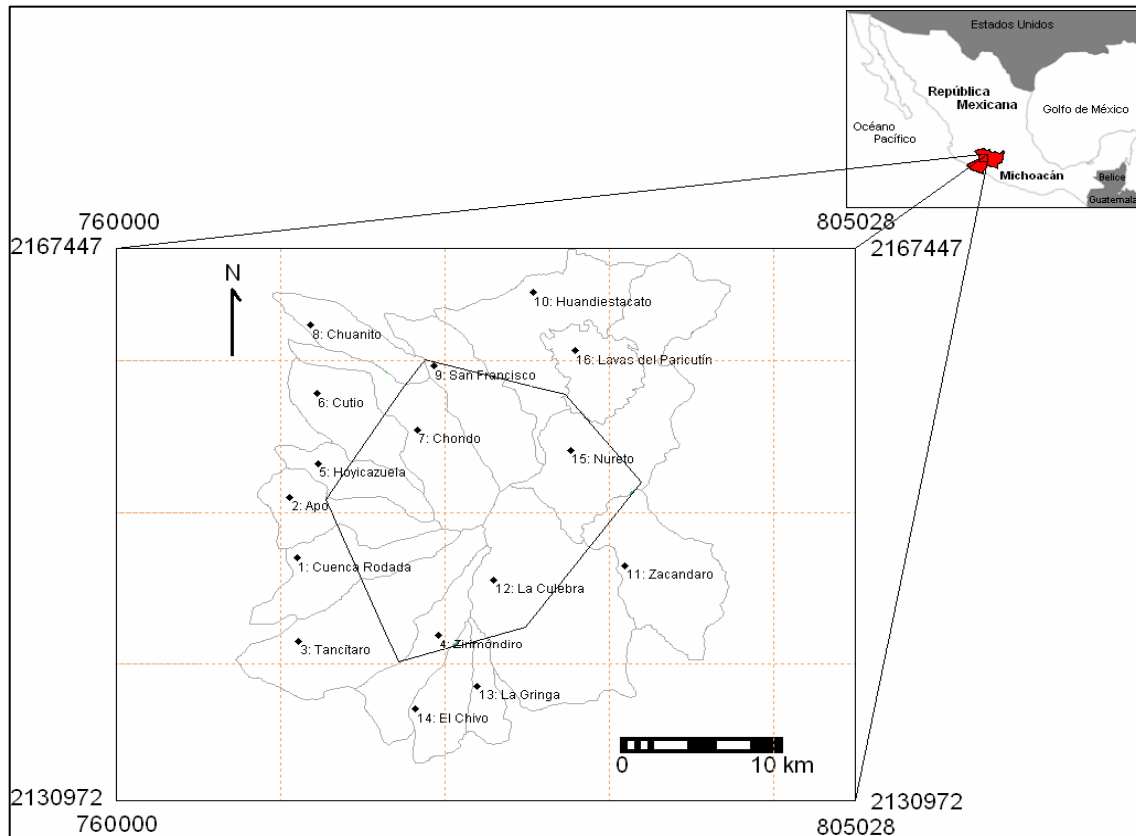


Figura 1. Localización del Pico de Tancítaro y sus cuencas.

Se decretó como ANP en 1940; y tan solo el parque nacional tiene una superficie de 23.7 km² ubicándose en parte de los municipios de Tancítaro, Nuevo San Juan Parangaricutiro, Peribán de Ramos y Uruapan del Estado de Michoacán. La zona es una de las 151 consideradas como prioritarias para estudios de esta naturaleza durante la reunión del comité de expertos convocada por CONABIO en 1996 (CONABIO, 1999).

La particularidad de esta región se debe a que conjuga tres elementos fundamentales: un área protegida con deterioro significativo (deforestación, alteración de la cubierta vegetal natural y erosión, Bocco, et. Al., 2000; Fuentes, 2000), fuerte presencia de comunidades indígenas forestales e importante incremento de cultivos frutícolas en los últimos veinte años. Además, presenta un gradiente altitudinal entre 2200 y 3850 msnm, una topografía irregular y eventos volcánicos relativamente recientes.

Todo ello se resume en un macizo volcánico aproximadamente cónico, donde dominan la pobreza, etnicidad y una ambigua tenencia de la tierra, con una importante variabilidad ambiental dada por pisos altitudinales y diferentes orientaciones e inclinaciones de sus laderas.

1.3 Importancia del Pico de Tancítaro

Según el anuario estadístico de Michoacán de INEGI (1996); los cuatro municipios que forman parte del Pico de Tancítaro (Nuevo Parangaricutiro, Peribán, Tancítaro y Uruapan), están dentro de los 41 municipios con producción forestal maderable significativa y participan con el 13.6% de la producción total de Michoacán.

Considerando que una buena parte del territorio de estos municipios se encuentra dentro del parque nacional, podemos acercarnos al significado económico que tiene el parque y sus alrededores.

De acuerdo con la Comisión Nacional del Agua (citado por INEGI-SEMARNAP, 1997), Michoacán se encuentra compartiendo con los estados vecinos las regiones hidrológicas de los sistemas Armería-Coahuayana, Lerma-Santiago, Costa de Michoacán, Balsas y Costa Grande.

De estos sistemas, las cuencas de mayor relevancia a nivel nacional y estatal por su extensión y por su significado socio-económico y ambiental son el Lerma-Santiago y el Balsas. Es en este último sistema donde se localiza el Parque Nacional Pico de Tancítaro.

El Pico de Tancítaro como entidad hidrológica, constituye la base del desarrollo de al menos 39,783 habitantes en 81 poblaciones y comunidades que se dedican al cultivo de aguacate, durazno, manzana y pera. Esta zona es una de las áreas más importantes del país en la producción de aguacate de exportación y el Tancítaro pertenece a la zona conocida como el corredor aguacatero de Uruapan (Torres y Bocco, 1999). Todos estos cultivos tienen como característica el tener grandes requerimientos de agua. Además, hay que agregar la correspondiente demanda tanto de los cultivos anuales de riego como de las necesidades industriales y domésticas. Todas estas formas de producción agrícola y usos demandan una gran cantidad de agua que proviene del macizo montañoso.

A pesar de estas características, su importancia es mayor no desde el punto de vista biológico, sino hidrológico (Fuentes, op.cit.; Fuentes et.al., 2003). Como ya se mencionó el PNPT aporta una gran cantidad de agua a la región aguacatera más importante del país y abastece del vital líquido a más de 40 mil habitantes. El autor estima en más de 30 millones de m³ al año, el volumen de agua superficial y de manantiales que se originan en el parque (Fuentes et.al., 2003). Sus 16 cuencas drenan el agua hacia ríos tan importantes como el

No se considera a la población de Zacán debido a que este poblado sale de la influencia hidrológica aquí determinada. Sin embargo, Zacán es un poblado fuertemente influenciado por el Tancítaro en otros aspectos por lo que la población cercana al Tancítaro podría ser de 40,700 habitantes.

Itzícuaru, el Apatzingan y el Cupatitzio, a su vez, afluentes del Tepalcatepec, perteneciente a la cuenca del Balsas, una de las cuencas más importantes el país en tamaño y en volumen.

2 Métodos

Mediante interpretación del mapa topográfico se obtuvieron los límites topográficos de las cuencas y la red hidrológica, ésta última también a través de interpretación e inferencia de los cursos fluviales a partir de las curvas de nivel.

La interpretación fue digitalizada y rasterizada en el programa ILWIS v. 2.2 y 3.0 (ITC, 1998 y 2001).

La obtención de ciertos parámetros como la densidad de drenaje y la cantidad de población fue realizada en forma totalmente automatizada en el SIG ILWIS, mientras que los datos necesarios para los índices fueron extraídos de tablas generadas por ILWIS a partir de los mapas rasterizados de topografía (del modelo digital del terreno o MDT), de cuencas y de ríos; y posteriormente tratados en una hoja de cálculo en el programa Excel v.2000 para Windows.

El diagrama de flujo de la figura 2 y la figura 3 muestran las fases de la investigación y el proceso de obtención de parámetros en SIG.

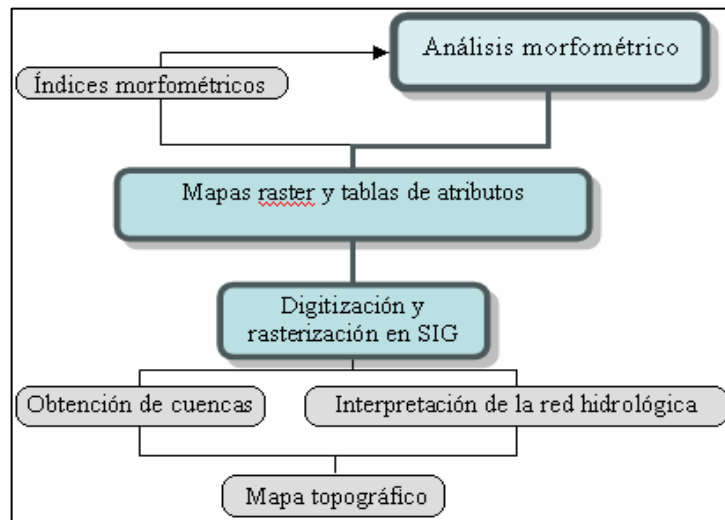
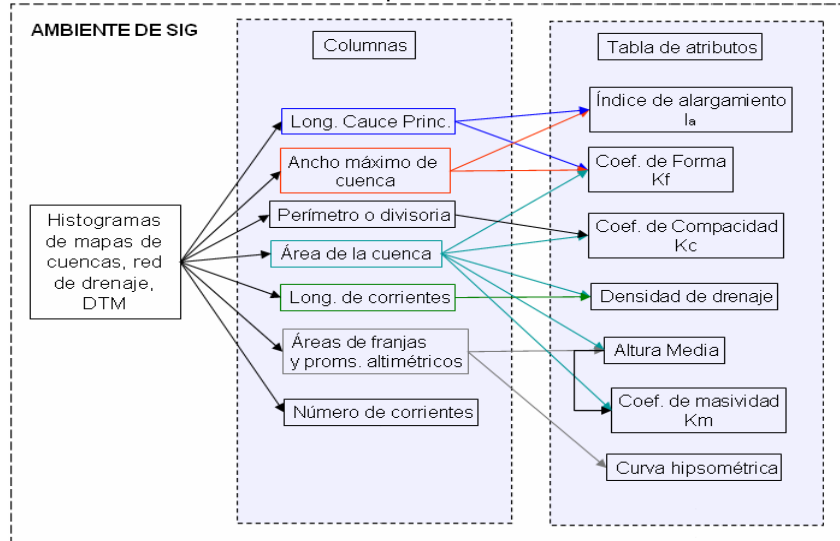


Figura 2. Diagrama metodológico del estudio.

Figura 3. Obtención de parámetros morfológicos en el SIG.

Modelación de parámetros en SIG



2.1 Índices y parámetros morfométricos

Una cuenca hidrográfica o cuenca de drenaje de un río es el área limitada por un contorno al interior del cual las aguas de la lluvia que caen se dirigen hacia un mismo punto, denominado salida de cuenca. Es en suma, el área de captación de aguas de un río delimitado por el parteaguas.

La cuenca hidrográfica actúa como un colector natural, encargada de evacuar parte de las aguas de lluvia en forma de escurrimiento. En esta transformación de lluvias en escurrimiento se producen pérdidas, o mejor, desplazamiento de agua fuera de la cuenca debido a la evaporación y la percolación.

Para este tipo de estudios no solamente interesa el volumen total a la salida de la cuenca, sino también su distribución espacial y temporal, para lo cual se necesita tener un buen conocimiento de sus características.

El movimiento del agua en la naturaleza es una función compleja en la cual intervienen diversos factores, entre los cuales se pueden resaltar su clima y sus características fisiográficas.

2.2 Cálculo y clasificación de los índices y parámetros utilizados.

2.2a Longitud del cauce principal

Es la medida del escurrimiento principal de la cuenca, medido desde la parte más alta hasta la salida (Tabla 1).

Este parámetro influye en el tiempo de concentración y en la mayoría de los índices morfométricos. Se obtiene a partir del mapa digitizado de la red de drenaje.

Tabla 1. Clases de valores de longitud del cauce principal	
Rangos de longitud	Clases de longitud del cauce
6.9-10.9	Corto
11-15	Mediano
15.1-19.1	Largo

2.2b Elevación media de la cuenca

La variación altitudinal de una cuenca hidrográfica incide directamente sobre su distribución térmica y por lo tanto en la existencia de microclimas y hábitats muy característicos de acuerdo a las condiciones locales reinantes.

Constituye un criterio de la variación territorial del escurrimiento resultante de una región, el cual, da una base para caracterizar zonas climatológicas y ecológicas de ella.

2.2c Método Area – elevación

Para poder determinar la elevación media de una cuenca existen diferentes métodos, uno de ellos es la técnica Area – elevación, el cual se describe a continuación:

Para estimar la elevación por este método, es necesario disponer de un mapa con curvas de nivel cuya separación altitudinal sea idéntica de nivel a nivel.

Este método inicia con la medición del área de las diferentes franjas de terreno, delimitada por las curvas de nivel consecutivas y la divisoria de aguas.

$$E_m = \frac{\sum_{i=1}^n A_i * e_i}{A_t} \quad Ec.(1)$$

Donde:

E_m : Elevación media de la cuenca en metros

A_i : Área de cada franja en (Km² o m²) de acuerdo al tamaño de la cuenca

e_i : Promedio de las curvas de nivel que delimita cada franja.

A_t : Área total de la cuenca en (Km² o m²)

Los valores ya clasificados se muestran en la tabla 2.

Tabla 2. Clases de valores de elevación media	
Rangos de elevación	Clases de elevación
1782.3-2072.2	Baja
2072.4-2362.2	Moderada
2362.4-2652.2	Alta

2.2d Área

Es el tamaño de la superficie de cada cuenca en km². Se obtiene automáticamente a partir de la digitización y poligonización de las cuencas en el SIG.

Se establecieron tamaños relativos a las mismas cuencas del Tancítaro, considerando los valores extremos y luego restando el mínimo al máximo y dividiendo entre cuatro para obtener cuatro clases de tamaño relativo (Tabla 3).

Tabla 3. Clases de tamaño de cuencas (km ²)	
Rangos de áreas	Clases de tamaño
12.5-35	Muy pequeña
35.5-58	Pequeña
58.5-81	Mediana
81.5-103.5	Grande

El área de una cuenca en general, se encuentra relacionada con los procesos que en ella ocurren. También se ha comprobado que la relación del área con la longitud de la misma es proporcional y también que esta inversamente relacionada a aspectos como la densidad de drenaje y el relieve relativo.

2.2e Desnivel altitudinal

Es el valor de la diferencia entre la cota más alta de la cuenca y la más baja. Se relaciona con la variabilidad climática y ecológica.

Una cuenca con mayor cantidad de pisos altitudinales puede albergar más ecosistemas al presentarse variaciones importantes en su precipitación y temperatura.

La tabla 4 muestra las clases de los valores agrupados de desnivel altitudinal.

Tabla 4. Clases de desnivel altitudinal (msnm)	
Rangos de Altitudes	Clases de altitudes
600-1220	Bajo
1221-1841	Mediano
1842-2462	Alto

2.2f Coeficiente de forma (K_f)

Este índice, propuesto por Gravelius, se estima a partir de la relación entre el ancho promedio del área de captación y la longitud de la cuenca, longitud que se mide desde la salida hasta el punto más alejado a ésta.

El factor de forma, viene dado por:

$$K_f = \bar{L} / L \quad Ec(2)$$

Donde:

- \bar{L} : Ancho promedio del área de captación
- L: Longitud de la cuenca
- A: Área de captación

El ancho promedio \bar{L} , se estima como:

$$\ddot{L} = A / L \quad Ec.(4)$$

Luego:

$$K_f = \frac{\ddot{L}}{L} = \frac{A/L}{L} \quad Ec.(4)$$

$$K_f = \frac{A}{L^2} \quad Ec.(5)$$

Este factor relaciona la forma de la cuenca con la de un cuadrado, correspondiendo un $K_f = 1$ para regiones con esta forma, que es imaginaria.

Un valor de K_f superior a la unidad nos proporciona el grado de achatamiento de la cuenca o el de un río principal corto. En consecuencia, con tendencia a concentrar el escurrimiento de una lluvia intensa formando fácilmente grandes crecidas.

En este trabajo se han clasificado las cuencas de acuerdo con la siguiente tabla.

Tabla 5. Clases de valores de forma	
Rangos de K_f	Clases de forma
.01-.18	Muy poco achatada
.18-.36	Ligeramente achatada
.36-.54	Moderadamente achatada

2.2g Coeficiente de compacidad (K_c)

Designado por K_c e igualmente propuesto por Gravelius, compara la forma de la cuenca con la de una circunferencia, cuyo círculo inscrito tiene la misma área de la cuenca en estudio. K_c se define como la razón entre el perímetro de la cuenca que es la misma longitud del parteaguas que la encierra y el perímetro de la circunferencia.

La ecuación que nos permite el cálculo de este coeficiente corresponde a:

$$K_c = 0.28 \frac{P}{\sqrt{A}} \quad Ec.(6)$$

Donde:

K_c : Coeficiente de compacidad

P: Perímetro de la cuenca (longitud de la línea de parteaguas)

A: Área de la cuenca

Este valor adimensional, independiente del área estudiada tiene por definición un valor de 1 para cuencas imaginarias de forma exactamente circular. Los valores de K_c nunca serán inferiores a 1. El grado de aproximación de este índice a la unidad indicará la tendencia a concentrar fuertes volúmenes de aguas de escurrimiento, siendo más acentuado cuanto más cercano sea a la unidad, lo cual quiere decir que entre más bajo sea K_c , mayor será la concentración de agua.

Existen tres categorías para la clasificación según el valor de este parámetro y que se muestran en la tabla 6.

Tabla 6. Clases de valores de compacidad.	
Rangos de K_c	Clases de compacidad
– 1.25	Redonda a oval redonda
1.25 – 1.50	De oval redonda a oval oblonga
1.50 – 1.75	De oval oblonga a rectangular oblonga

2.2h Índice de alargamiento (I_a)

Este índice propuesto por Horton, relaciona la longitud máxima encontrada en la cuenca, medida en el sentido del río principal y el ancho máximo de ella medido perpendicularmente; se lo calcula de acuerdo a la fórmula siguiente.

$$I_a = \frac{L_m}{l} \quad Ec.(7)$$

Donde:

- I_a : Índice de alargamiento
- L_m : Longitud máxima de la cuenca
- l : Ancho máximo de la cuenca

Cuando I_a toma valores mucho mayores a la unidad, se trata seguramente de cuencas alargadas, mientras que para valores cercanos a 1, se trata de una cuenca cuya red de drenaje presenta la forma de abanico y puede tenerse un río principal corto (tabla 7).

Tabla 7. Clases de valores de alargamiento	
Rangos de I	Clases de alargamiento
0.0-1.4	Poco alargada
1.5-2.8	Moderadamente alargada
2.9-4.2	Muy alargada

2.2i Coeficiente de masividad (K_m)

Este coeficiente representa la relación entre la elevación media de la cuenca y su superficie.

$$K_m = \frac{\text{Altura media de la cuenca (m)}}{\text{Area de la cuenca (Km}^2\text{)}} \quad \text{Ec.(8)}$$

Este valor toma valores bajos en cuencas montañosas y altos en cuencas llanas (tabla 8).

Tabla 8. Clases de valores de masividad	
Rangos de K_m	Clases de masividad
0-35	Muy Montañosa
35-70	Montañosa
70-105	Moderadamente montañosa

2.2j Orden de corriente

Existen diferentes métodos para obtener este índice (Gregory and Walling, 1985). En este estudio se utilizó el método de Strahler ya que es el más común, el más comprensible y el más fácil de relacionar con otros parámetros morfométricos.

Este índice se obtiene mediante la agregación de corrientes, considerando una corriente de primer orden a aquella que no tiene afluentes, una de segundo orden aquella donde se reúnen dos corrientes de primer orden, una de tercero donde confluyen dos de segundo orden y así sucesivamente (figura 4).

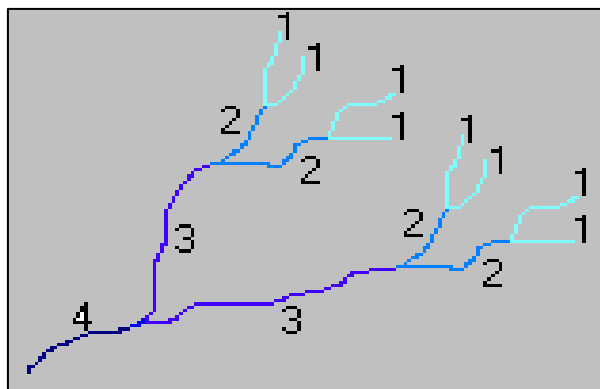


Figura 4. Ordenes de corriente según Strahler (Gregory, Op. cit.).

Este índice indica el grado de estructura de la red de drenaje. En general, mientras mayor sea el grado de corriente, mayor será la red y su estructura más definida.

Asimismo, un mayor orden indica en general la presencia de controles estructurales del relieve y mayor posibilidad de erosión o bien, que la cuenca podría ser más antigua (en determinados tipos de relieve).

Tabla 9. Clases de orden de corriente	
Rangos de ordenes	Clases de orden
1-2	Bajo
2.1-4	Medio
4.1-6	Alto

2.2k Densidad de drenaje (D_d)

Este índice permite tener un mejor conocimiento de la complejidad y desarrollo del sistema de drenaje de la cuenca. En general, una mayor densidad de escurrimientos indica mayor estructuración de la red fluvial, o bien que existe mayor potencial de erosión.

Pero también, como indican Gregory and Walling (Op. Cit.), la densidad de drenaje provee una liga entre los atributos de forma de la cuenca y los procesos que operan a lo largo del curso de la corriente. Más precisamente, la densidad de drenaje refleja controles topográficos, litológicos, pedológicos y vegetacionales, además de incorporar la influencia del hombre.

La densidad de drenaje se calcula dividiendo la longitud total de las corrientes de la cuenca por el área total que las contiene, o sea:

$$D_d = \frac{L}{A} \quad Ec.(9)$$

Siendo:

- L: Longitud de las corrientes efímeras, intermitentes y perennes de la cuenca en (Km)
- A: Área de la cuenca en (Km^2)

La densidad de drenaje varía inversamente con la extensión de la cuenca. Con el fin de catalogar una cuenca bien o mal drenada, analizando su densidad de drenaje, se puede considerar que valores de D_d próximos a 0.5 km/km^2 o mayores indican la eficiencia de la red de drenaje.

La red de drenaje toma sus características, influenciada por las lluvias y la topografía. Por esto se tiene que para un valor alto de D_d corresponden grandes volúmenes de escurrimiento, al igual que mayores velocidades de desplazamiento de las aguas, lo que producirá ascensos de las corrientes.

En períodos de estiaje se esperan valores más bajos del caudal en cuencas de alta densidad de drenaje y de fuertes pendientes, mientras que en cuencas planas y de alta densidad de drenaje, se espera estabilidad del régimen de caudales, debido al drenaje subsuperficial y al aporte subterráneo.

La siguiente tabla muestra las clases de densidad de drenaje.

Tabla 10. Clases de densidad de drenaje	
Rangos de densidad	Clases
.1-1.8	Baja
1.9-3.6	Moderada
3.7-5.6	Alta

2.21 Número de Esguerrimientos

Es la cantidad de afluentes naturales de la cuenca. Se contabiliza mediante SIG a través del número de segmentos marcados en el mapa digitizado.

Constituye una medida de la energía de la cuenca, de la capacidad de captación de agua y de la magnitud de la red fluvial. Un mayor número de esguerrimientos proporciona un mejor drenaje de la cuenca y por tanto, favorece el esguerrimiento.

Los valores de esguerrimiento se han agrupado en la tabla 11.

Tabla 11. Clases de valores esguerrimientos	
Rangos de esguerrimiento	Clases
0-170	Bajo
171-340	Medio
341-510	Alto

2.2m Pendiente del cauce principal

La pendiente del cauce se la puede estimar por diferentes métodos, uno de ellos es el de los valores extremos, el cual consiste en determinar el desnivel H entre los puntos más elevado y más bajo del río en estudio y luego dividirlo entre la longitud del mismo cauce L , lo que significa:

$$S = \frac{H}{L} \quad Ec.(10)$$

Donde:

- S: Pendiente media del cauce
- H: Desnivel entre los puntos más elevado y más alto, para el caso 100 m
- L: Longitud del cauce

La tabla 12 nos muestra los valores agrupados en clases.

Rangos de pendiente	Clases
.01-.05	Suave
.06-.11	Moderada
.12-.17	Fuerte

2.2n Tiempo de concentración (T_c)

Es el tiempo transcurrido entre el final del hietograma de excesos y el final del escurrimiento directo, siendo ésta la definición que aparece reseñada en la literatura con mayor frecuencia. Sin embargo, otros autores reportan el T_c como el tiempo comprendido entre el centroide del hietograma de excesos y el punto de inflexión sobre la curva de recesión del hidrograma de escurrimiento directo.

Además se puede definir como el tiempo que demora en viajar una partícula de agua desde el punto más remoto hasta el punto de interés. Corresponde al lapso entre el final de la lluvia y el momento en que cesa el escurrimiento superficial.

Existen una serie de fórmulas que permiten el cálculo de este tiempo desarrolladas por diversos autores.

Algunas de las fórmulas que se emplean para el cálculo de este tiempo son las siguientes:

Kirpich:

$$T_c = 0.06626 * \left(\frac{L^2}{S} \right)^{0.385} \quad Ec.(11)$$

Temez:

$$T_c = 0.126 * \left(\frac{L}{S^{0.35}} \right)^{0.75} \quad Ec.(12)$$

Pasini:

$$T_c = 0.023 * \left(A * \frac{L}{S} \right)^{0.5} \quad Ec.(13)$$

Pizarro:

$$T_c = 13.548 * \left(\frac{L^2}{H} \right)^{0.77} \quad Ec.(14)$$

Donde:

- T_c: Tiempo de concentración (min)
L: Longitud del cauce principal en (Km)
S: Pendiente del cauce principal (m/m)
A: Area de la cuenca (Km²)
H: Diferencia de alturas (m)

En este trabajo se ha utilizado la fórmula de Pizarro por ser una ecuación eficiente y fácil de emplear.

La tabla siguiente muestra la clasificación de los valores de concentración para las cuencas del Tancítaro.

Tabla 13. Clases de tiempo de concentración (min)	
Rangos de T_c	Clases
0-41.7	Rápido
41.6-83.2	Moderado
83.3-125.1	Lento

2.2o Población

Es la cantidad total de población por cuenca de acuerdo con los datos de INEGI (2000). Este parámetro se obtuvo calculando el mapa en un SIG, mediante el solapamiento del mapa de comunidades con el de cuencas. Solo se tomaron en cuenta las poblaciones que caían dentro de los límites de las cuencas.

2.2p Disponibilidad de agua

Es la cantidad de agua disponible para el uso humano en relación con la cantidad total de población al año 2000. Este parámetro se obtuvo definiendo los consumos de agua urbano y rural a partir de los datos generados por CNA (2000) donde se establece para cada municipio el consumo de agua en M³ anuales por habitante.

En este caso, se obtuvo el promedio para los municipios del Tancítaro que es de 383,44 M³/año para el caso del uso doméstico urbano. En el caso del uso doméstico en ambiente rural, el valor que se obtuvo en campo fue de 73 M³/año. Los dos valores fueron ponderados y relacionados con el gasto por cuenca.

Con los datos obtenidos, se clasificaron los valores obteniendo tres clases de disponibilidad de agua (tabla 14).

Tabla 14. Disponibilidad de agua
Clases

Baja
Moderada
Alta

Todos los parámetros y medidas obtenidos, son descritos complementariamente y en forma combinada para cada cuenca. El cuadro 1 resume el significado de los parámetros morfométricos.

Morfometría	Significado Morfométrico
Longitud del cauce principal (km):	A mayor longitud, mayor Tc. Está influido por la pendiente.
Elevación media (msnm):	Distribución espacial del escurrimiento y distribución térmica.
Área (km ²):	Tamaño relativo, a menor tamaño, menor capacidad de coleccionar agua y menor volumen de ésta. Se correlaciona directamente con su longitud e inversamente con la densidad de drenaje.
Desnivel (m):	Variación altitudinal, si es mayor hay más variedad climática y ecológica
Coef. de forma (Kf):	Grado de achatamiento. Valores altos indican tendencia a la concentración de aguas (formación de crecidas).
Coef. de compacidad (Kc):	Grado de circularidad. Valores cercanos a 1 indican tendencia a concentrar mayor volumen de escurrimiento.
Coef. de alargamiento (Li):	Valores cercanos a 1 corresponde a ríos cortos y por tanto, con mejor respuesta a las lluvias.
Coef. de masividad (Km):	Una cuenca montañosa implica mayor energía y mayor precipitación en general.
Orden:	Es el valor de la red de drenaje. Indica el grado de estructura que tiene. Un mayor orden indica mayor energía y mayor control estructural y en general, mayor erosión.
Densidad de drenaje (km/km ²):	Valores altos indican mayor eficiencia de transporte y mayor velocidad de transporte.
Número de escurrimientos:	A mayor número mayor capacidad de coleccionar agua y mayor erosión.
Pendiente del cauce principal:	A mayor pendiente mayor velocidad de desplazamiento del agua, menor tiempo de concentración y menor infiltración.
Tiempo de concentración (Tc):	A mayor tiempo, mayor volumen de agua. También puede indicar un mayor escurrimiento.
Población:	A mayor cantidad menor disponibilidad de agua y mayor presión sobre el recurso.
Disponibilidad de agua:	Cantidad de agua disponible por cuenca en base a la población.

Cuadro 1. Significado de los parámetros morfométricos.

3. Análisis de resultados por cuenca

El Pico de Tancítaro da origen a 16 cuencas hidrológicas cuya configuración radial centrífuga es típica de las zonas volcánicas. Es decir, las cabeceras se irradian desde el centro conformado por el Pico de Tancítaro, hacia sus bocas o desagües que se abren en abanico hacia las partes más bajas.

El límite inferior de salida de las cuencas está formado bajo un criterio geomorfológico. Se determinó que el límite corresponde a las zonas de piedemonte inferior del estratovolcán, mismo que coincide más o menos con las cotas de 1300 a 1500 msnm.

Las cuencas varían mucho en tamaño y van desde unos cuantos kilómetros cuadrados hasta más de 100 (tabla 15).

Algunas de las características más sobresalientes de las cuencas son:

- El predominio de cuencas alargadas.
- La ausencia de escurrimientos permanentes en el 80% de ellas.
- Predominio de redes hidrológicas dendríticas subparalelas bien estructuradas.
- Diferencias altitudinales promedio de más de 1550 metros entre la cabecera y la salida de las cuencas.
- El 68% de las cuencas sobrepasan los 3000 msnm de altitud.
- Solo las cuencas mayores a 40 km² poseen escurrimientos permanentes, excepto en el caso de Nureto y Huandiestacato que no tienen y cuyas cuencas son anómalas por tener sustratos geológicos muy recientes de tipo volcánico, y también en el caso de Chuanito, menor a 30 km² y que si tiene escurrimiento permanente.
- Predominan las cuencas con órdenes de corriente inferiores a 5 y densidades de drenaje menor a 4.
- Aunque hay cuencas muy pobladas como Chondo y Tancítaro, en general, podemos decir que las cuencas tienen poca población en promedio (menos de 60 hab/km²).

CUENCA	Perim (km)	LCP* (km)	Ancho cuenca (km)	Elevación media (msnm)	Área (km ²)	Tamaño relativo	Altitud mínima	Altitud máxima	Desnivel
Apo	30.5	11.4	5.4	2318.8	29.68	pequeña	1780	3700	1920
Chondo	42.3	13.2	4.4	2609.8	45.55	pequeña	1580	3840	2260
Chuanito	24.3	11.0	2.9	1782.3	20.68	muy pequeña	1460	2200	740
Cuenca Rodada	34.3	14.2	4.6	2277.9	33.84	pequeña	1540	3760	2220
Cutio	28.4	11.8	5.0	1892.1	31.67	pequeña	1600	3200	1600
El Chivo	22.6	9.9	3.8	2005.1	21.20	muy pequeña	1960	2600	640
Hoyicazuela	25.6	10.7	2.9	2421.3	20.33	muy pequeña	1820	3600	1780
Huandiestacato	57.1	12.1	5.5	2339.5	60.78	mediana	1940	3200	1260
La Culebra	45.0	15.9	9.8	2453.6	102.66	grande	1500	3760	2260
La Gringa	20.0	8.5	2.8	2084.4	12.48	muy pequeña	1940	2600	660
Lavas del Paricutín	30.1	6.9	5.4	2410.6	25.51	muy pequeña	2200	2800	600
Nureto	67.9	18.9	7.3	2652.2	84.76	grande	2300	3500	1200
San Francisco	34.8	14.1	4.5	2473.5	41.80	pequeña	1800	3600	1800
Tancítaro	42.3	17.4	5.9	2189.5	66.07	mediana	1380	3840	2460
Zacandaro	34.8	12.0	6.5	2224.0	51.16	mediana	1500	3040	1540
Zirimóndiro	34.4	14.3	3.5	2266.8	28.81	pequeña	1900	3700	1800
Prom.	35.9	12.6	5.0	2275.1	42.3		1762.5	3308.8	1546.3
Máx	67.9	18.9	9.8	2652.2	102.7		2300.0	3840.0	2460.0
Min.	20.0	6.9	2.8	1782.3	12.5		1380.0	2200.0	600.0
Desv. Estándar	12.3	3.0	1.8	234.5	24.4		261.1	504.5	611.7

*Longitud del cauce principal

Tabla 15. Características morfométricas básicas de las cuencas del Tancítaro.

3.1 Características morfométricas e índices por cuencas

3.1a Cuenca Apo

La cuenca de Apo debe su nombre a la población y arroyo del mismo nombre y se ubica en la porción occidental del Pico de Tancítaro. Es una cuenca pequeña con 29.6 km² pero con un gran desnivel entre sus alturas mayores y menores. De tipo alargada, es una cuenca con elevación media mayor al promedio (cuadro 2, figura 5).

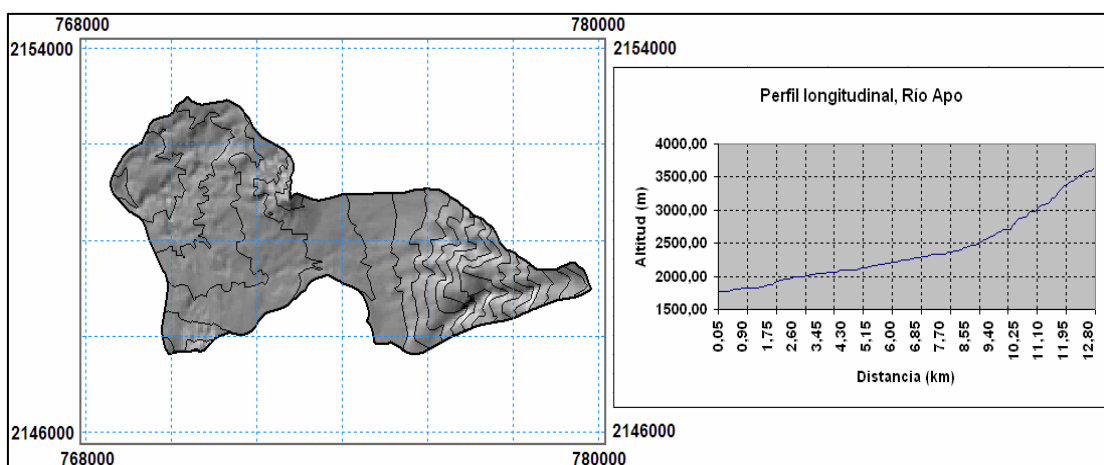


Figura 5. Cuenca perfil longitudinal de Apo.

Sus características indican que se trata de una cuenca que no puede captar demasiada agua debido a su forma y a que el agua captada presenta recorridos cortos debido a su pendiente lo que genera escurrimientos rápidos y por tanto escasas oportunidades para la recarga de agua.

Morfometría	Apo	Clasificación
Perímetro (km):	30,46	-
Longitud del cauce principal (km):	11,44	Medio
Ancho cuenca (km):	5,42	-
Elevación media (msnm):	2318,76	Moderada
Área (km ²):	29,68	Pequeña
Altitud mínima:	1780	-
Altitud máxima:	3700	-
Desnivel (m):	1920	Alto
Kf ¹ :	0,23	Ligeramente achatada
Kc ² :	1,567	De oval oblonga a rectangular oblonga
l ³ :	2,1	Moderadamente alargada
Km ⁴ :	78.1	Moderadamente montañosa
Orden:	5	Alto
Densidad de drenaje (km/km ²):	5,56	Alta
Número de escurrimientos:	237	Medio
Pendiente del cauce principal:	0,17	Fuerte
Tc* (min):	57,5	Moderado
Población:	1548	-
Disponibilidad de agua:	Moderada	-

¹Coefficiente de forma, ²Coefficiente de compacidad, ³Índice de alargamiento, ⁴Coefficiente de masividad, *Tiempo de concentración de Pizarro.

Cuadro 2. Características morfométricas de la cuenca Apo.

3.1b Cuenca Chondo

La cuenca Chondo debe su nombre al arroyo que forma su cauce principal. Se ubica en la porción noroeste del Tancítaro. Es una cuenca pequeña de menos de 50 km². El desnivel que presenta es muy pronunciado debido a que su cabecera coincide con las mayores altitudes del Pico de Tancítaro (3840 msnm) y su salida llega hasta los 1580 msnm.

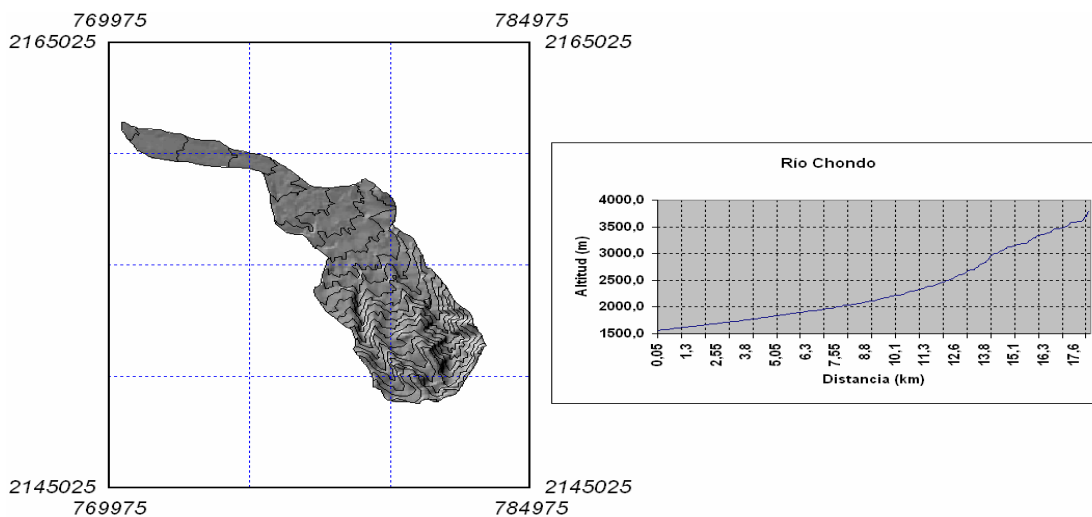


Figura 6. Cuenca perfil longitudinal de Chondo.

Esta es una de las cuencas más interesantes ya que posee características únicas de tipo ambiental (varios pisos de vegetación), social (terrenos ejidales, comunales y privados) y económico (producción aguacatera más importante de la región).

Morfometría	Chondo	Clasificación
Perim (km):	42,3	-
Longitud del cauce principal (km):	13,2	Mediano
Ancho cuenca (km):	4,4	-
Elevación media (msnm):	2609,8	Alta
Área (km ²):	45,55	Pequeña
Altitud mínima:	1580	-
Altitud máxima:	3840	-
Desnivel:	2260	Alto
Kf ¹ :	.26	Ligeramente achatada
Kc ² :	1,8	De oval oblonga a rectangular oblonga
I ³ :	2.98	Muy alargada
Km	57.3	Montañosa
Orden:	5	Alto
Densidad de drenaje (km/km ²):	5,0	Alta
Número de escurrimientos:	292,0	Medio
Pendiente del cauce principal:	0,17	Fuerte
Tc* (min):	71,6	Lento
Población:	11519,0	-
Disponibilidad de agua:	Moderada	-

¹Coefficiente de forma, ²Coefficiente de compacidad, ³Índice de alargamiento, ⁴Coefficiente de masividad *Tiempo de concentración de Pizarro.

Cuadro 3. Características morfométricas de la cuenca Chondo.

En esta cuenca los valores de forma, índice de alargamiento y de compacidad, indican moderada tendencia a acumular volúmenes importantes de agua. Su disponibilidad de agua se considera moderada debido a la gran cantidad de población y su relación con la cantidad de agua que tiene. Es la cuenca con mayor densidad poblacional.

3.1c Cuenca Chuanito

La cuenca de Chuanito colinda con la anterior y se localiza por tanto, hacia el noroeste del Pico de Tancítaro. Es una cuenca de tamaño muy pequeño con tan solo 20.6 km².

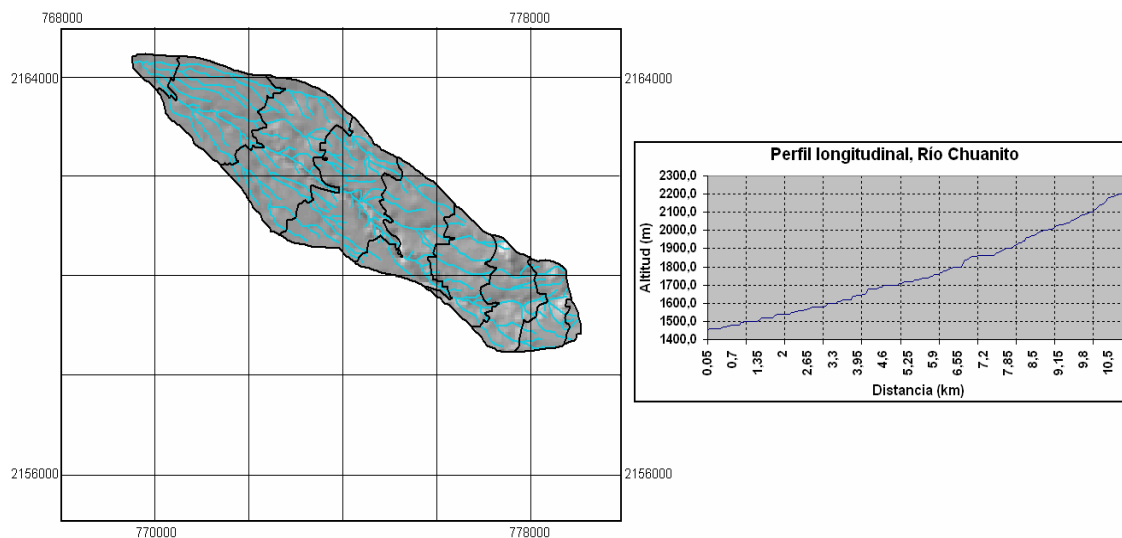


Figura 7. Cuenca y perfil longitudinal de Chuanito.

Morfometría	Chuanito	Clasificación
Perímetro (km):	24,3	-
Longitud del cauce principal (km):	11,0	Mediano
Ancho cuenca (km):	2,9	-
Elevación media (msnm):	1782,3	Baja
Área (km ²):	20,68	Muy Pequeña
Altitud mínima:	1460	-
Altitud máxima:	2200	-
Desnivel:	740	Bajo
Kf ¹ :	0,17	Muy poco achatada
Kc ² :	1,5	De oval redonda a oval oblonga
I ³ :	3,84	Muy alargada
Km	86.2	Moderadamente montañosa
Orden:	4	Medio
Densidad de drenaje (km/km ²):	4,2	Alta
Número de escurrimientos:	98,0	Bajo
Pendiente del cauce principal:	0,067	Moderada
Tc* (min):	54,3	Moderado
Población:	485,0	-
Disponibilidad de agua:	Alta	-

¹Coefficiente de forma, ²Coefficiente de compacidad, ³Índice de alargamiento, ⁴Coefficiente de pasividad,*Tiempo de concentración de Pizarro.

Cuadro 4. Características morfométricas de la cuenca Chuanito.

Con una longitud del cauce principal corta y un desnivel de apenas 740 m, esta cuenca tiene un tiempo de concentración sorprendentemente alto. Lo anterior se debe sobre todo a su perfil longitudinal con baja pendiente.

Chuanito tiene como característica hidrológica el escurrimiento permanente del cauce principal y una red de drenaje subparalela. Estas características y la ubicación en la parte baja del Tancítaro le permiten tener una alta disponibilidad de agua.

3.1d Cuenca Rodada

Se localiza hacia el oeste del Tancítaro y es también, de tamaño pequeño con solo 33 km². Su longitud del cauce principal es de 14.2 km y presenta un gradiente altitudinal pronunciado de más de 2000 m. Tiene un tiempo de concentración alto con más de una hora de tiempo.

La estructura alargada de esta cuenca se comprueba con el valor del índice de alargamiento. Asimismo, junto con los demás índices, se puede establecer la poca capacidad de la cuenca para agua. Lo anterior, a pesar de tener una red de drenaje bien estructurada (Cuadro 5, Figura 8).

Morfometría	Cuenca Rodada	Clasificación
Perímetro (km):	34,3	-
Longitud del cauce principal (km):	14,2	Mediano
Ancho cuenca (km):	4,6	-
Elevación media (msnm):	2277,9	Moderada
Área (km ²):	33,84	Muy pequeña
Altitud mínima:	1540	
Altitud máxima:	3760	-
Desnivel:	2220	Alto
Kf ¹ :	0,17	Muy poco achatada
Kc ² :	1,7	De oval oblonga a rectangular oblonga
Li ³ :	3,1	Muy alargada
Km	67.3	Montañosa
Orden:	5	Alto
Densidad de drenaje (km/km ²):	5,4	Alta
Número de escurrimientos:	221,0	Medio
Pendiente del cauce principal:	0,15	Fuerte
Tc* (min):	80,2	Moderado
Población:	827,0	-
Disponibilidad de agua:	Baja	-

¹Coefficiente de forma, ²Coefficiente de compacidad, ³Índice de alargamiento, ⁴Coefficiente de masividad
*Tiempo de concentración de Pizarro.

Cuadro 5. Características morfométricas de la cuenca Rodada.

La cuenca Rodada no cuenta con escurrimientos permanentes, por lo que responde principalmente a los eventos de lluvia. Por otro lado, la baja disponibilidad de agua esta

relacionada con las características anteriores y la existencia de manantiales y arroyos muy pequeños que desaparecen inmediatamente.

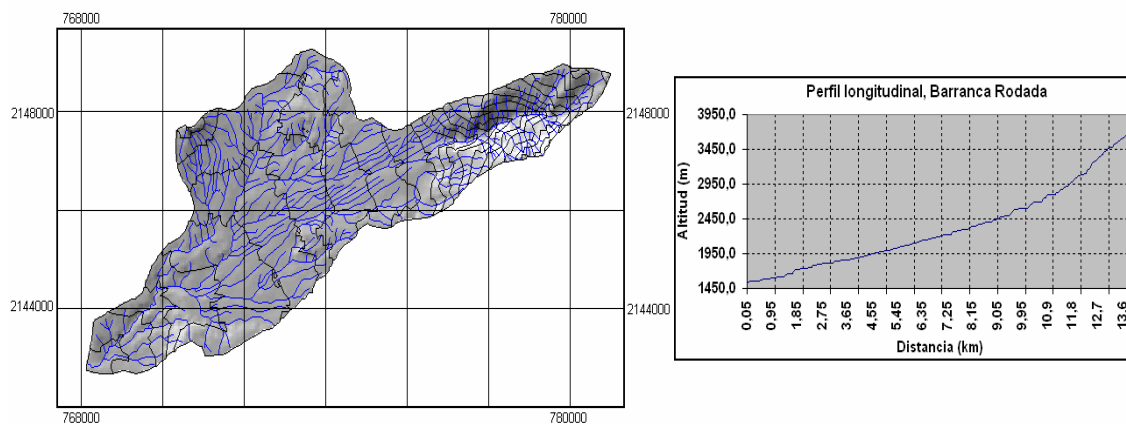


Figura 8. Cuenca y perfil longitudinal de Barranca Rodada.

3.1e Cuenca Cutío

Esta cuenca se localiza al noroeste del Tancítaro y debe su nombre al de su río principal. Se trata de una cuenca de tamaño pequeño también, ya que solo tiene 31.6 km².

Tanto el desnivel (1600 m) como la longitud de su cauce principal (11.8 km) son de cortas dimensiones. Esto evidencia una menor variación de las condiciones ecológicas y de cobertura vegetal.

Morfometría	Cutío	Clasificación
Perímetro (km):	28,4	
Longitud del cauce principal (km):	11,8	Mediano
Ancho cuenca (km):	5,0	
Elevación media (msnm):	1892,1	Baja
Área (km ²):	31,67	Muy pequeña
Altitud mínima:	1600	
Altitud máxima:	3200	
Desnivel:	1600	Mediano
Kf ¹ :	0,23	Ligeramente achatada
Kc ² :	1,4	De oval redonda a oval oblonga
Li ³ :	2,4	Moderadamente alargada
Km	59.7	Montañosa
Orden:	5	Alto
Densidad de drenaje (km/km ²):	4,8	Alta
Número de escurrimientos:	190,0	Medio
Pendiente del cauce principal:	0,13	Fuerte
Tc* (min):	60,4	Moderado
Población:	1429,0	-
Disponibilidad de agua:	Moderada	-

¹Coefficiente de forma, ²Coefficiente de compacidad, ³Índice de alargamiento, ⁴Coefficiente de masividad
^{*}Tiempo de concentración de Pizarro.

Cuadro 6. Características morfométricas de la cuenca Cutío.

Junto con las cuencas de Chuanito y Chondo, es una cuenca influenciada enormemente por la población de Pribán, a pesar de que dentro de sus límites la densidad de población es de menos de 50 hab/km². Lo anterior ha motivado la fuerte contaminación de su arroyo principal debido a descargas domésticas principalmente, pero también por agroquímicos.

Los valores de su morfometría indican una baja pendiente, una red de drenaje bien estructurada y los valores en sus índices de compacidad, alargamiento y forma permiten suponer un comportamiento similar a las de Chondo y Chuanito.

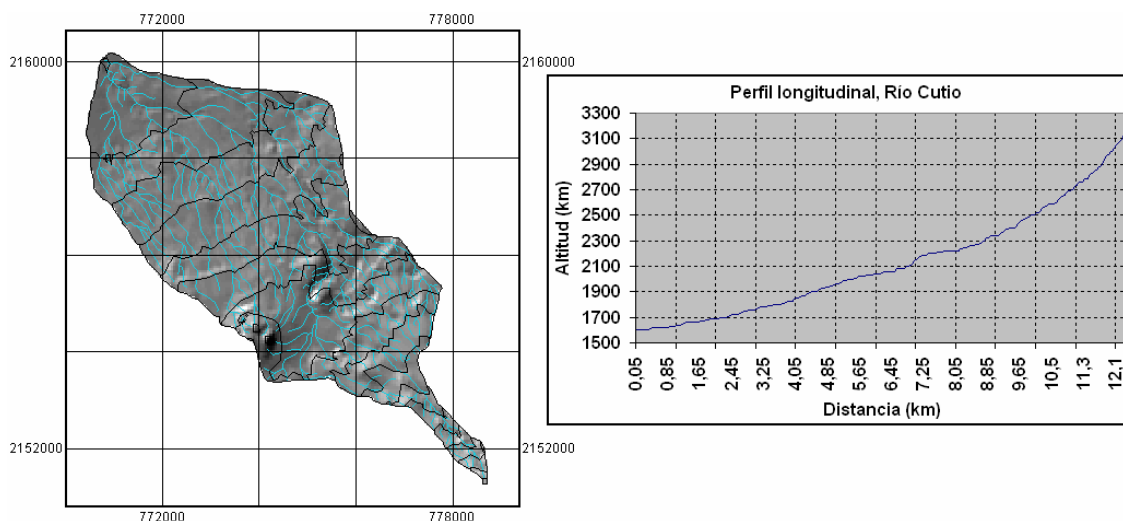


Figura 9. Cuenca y perfil longitudinal de Río Cutío.

3.1f Cuenca El Chivo

La cuenca del arroyo El Chivo, se localiza hacia el sur del Pico de Tancítaro y es una de las dos cuencas más pequeñas de la zona de estudio.

Morfometría	El Chivo	Clasificación
Perímetro (km):	22,6	
Longitud del cauce principal (km):	9,9	Corto
Ancho cuenca (km):	3,8	
Elevación media (msnm):	2005,1	Baja
Área (km ²):	21,20	Muy pequeña
Altitud mínima:	1960	-
Altitud máxima:	2600	-
Desnivel:	640	Bajo
Kf ¹ :	0,22	Ligeramente achatada
Kc ² :	1,4	De oval redonda a oval oblonga
Li ³ :	2,6	Moderadamente alargada
Km	94.6	Moderadamente montañosa
Orden:	3	Medio

Densidad de drenaje (km/km ²):	1,8	Baja
Número de escurrimientos:	29,0	Bajo
Pendiente del cauce principal:	0,065	Moderada
Tc* (min):	46,0	Moderado
Población:	310,0	-
Disponibilidad de agua:	Baja	-

¹Coefficiente de forma, ²Coefficiente de compacidad, ³Índice de alargamiento, ⁴Coefficiente de masividad *Tiempo de concentración de Pizarro.

Cuadro 7. Características morfométricas de la cuenca El Chivo.

Su área es de apenas 21.2 km² y el desnivel que presenta entre su máxima y mínima altura es de solo 640 m y como se puede deducir, es una cuenca muy homogénea tanto climáticamente como en su cobertura vegetal.

De forma más bien ovalada, es una cuenca con cauce principal corto y tiempo de concentración breve de apenas 46 minutos.

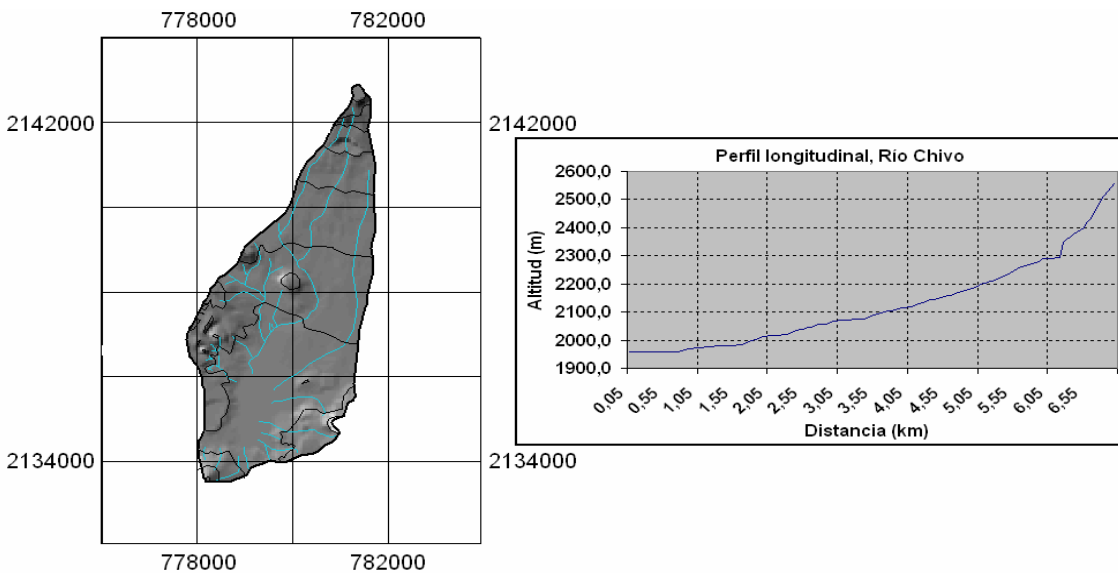


Figura 10. Cuenca y perfil longitudinal de Río Chivo.

Los índices morfométricos indican la presencia de avenidas y por tanto capacidad para concentrar volúmenes de agua que se descargan con rapidez impidiendo de esta forma la pérdida en el balance hídrico por infiltración. (Cuadro 7, Figura 10).

3.1g Cuenca Hoyicazuela

La cuenca Hoyicazuela se encuentra hacia el oeste del Tancítaro y su nombre lo toma del río principal. Es una cuenca muy pequeña de 20.3 km². La diferencia de alturas entre la parte más baja y la más alta es de 1780 m (Cuadro 8 y Figura 11).

Su desnivel es alto al registrar 1780 m, lo que nos indica una gran energía que facilita la presencia de crecidas durante la época de lluvias.

Hoyicazuela es una cuenca con forma más bien alargada y angosta, sus parámetros morfométricos indican baja tendencia a concentrar fuertes volúmenes de agua de escurrimiento.

El escurrimiento de esta cuenca no es permanente, presentándose solo durante la época lluviosa y tan solo por cuatro meses en forma intermitente.

Lo anterior es posible corroborarlo al observar los valores de densidad de drenaje, el número de escurrimientos y el desnivel pronunciado de sus alturas. La disponibilidad de agua moderada en parte se debe a que la densidad poblacional no es alta, pero también a la existencia de manantiales.

Morfometría	Hoyicazuela	Clasificación
Perímetro (km):	25,6	-
Longitud del cauce principal (km):	10,7	Corto
Ancho cuenca (km):	2,9	-
Elevación media (msnm):	2421,3	Alta
Área (km ²):	20,33	Muy pequeña
Altitud mínima:	1820	-
Altitud máxima:	3600	-
Desnivel:	1780	Alto
Kf ¹ :	0,18	Muy poco achatada
Kc ² :	1,6	De oval oblonga a rectangular oblonga
Li ³ :	3,7	Muy alargada
Km	119.1	Moderadamente montañosa
Orden:	4	Medio
Densidad de drenaje (km/km ²):	4,9	Alta
Número de escurrimientos:	126,0	Bajo
Pendiente del cauce principal:	0,16	Fuerte
Tc* (min):	52,0	Moderado
Población:	124,0	
Disponibilidad de agua:	Moderada	

¹Coefficiente de forma, ²Coefficiente de compacidad, ³Índice de alargamiento, ⁴Coefficiente de pasividad, *Tiempo de concentración de Pizarro.

Cuadro 8. Características morfométricas de la cuenca Hoyicazuela.

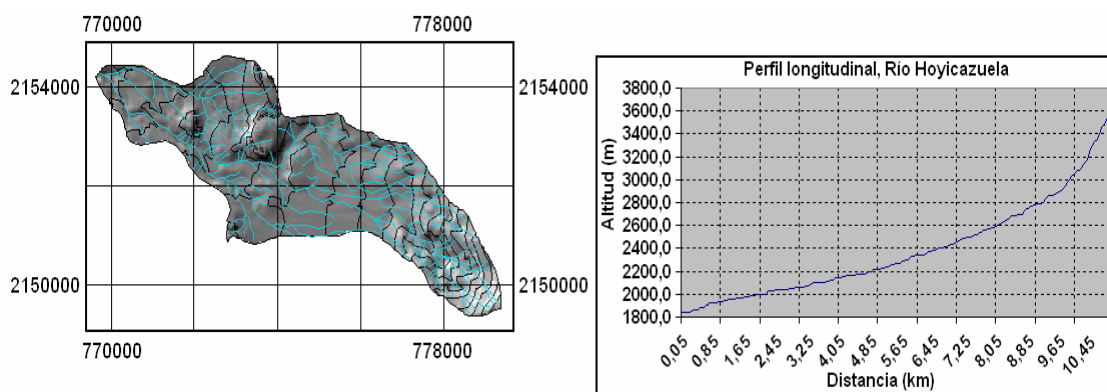


Figura 11. Cuenca perfil y longitudinal de Hoyicazuela.

3.1h Cuenca Huandiestacato

La cuenca Huandiestacato debe su nombre al arroyo principal de la misma. Es una cuenca de tamaño medio y se localiza al norte-noreste del Pico de Tancitaro. Presenta una elevación media por arriba del promedio, por lo que es una cuenca más alta que la mayoría. Su desnivel en metros asciende a 1260, por lo que su pendiente no es muy alta.

Una de las principales características de esta cuenca es su forma irregular. Es importante mencionar que esta cuenca junto con la de Nureto y Las Lavas del Paricutín definen en conjunto una cuenca muy grande.

Sin embargo, la anomalía que introduce la unidad hidrológica de las Lavas del Paricutín a dicha cuenca ha obligado a su separación más o menos artificial. Esto permitió mejorar su clasificación y ayudar a que los parámetros morfométricos pudieran ser comparables a las demás cuencas del área de estudio con valores más lógicos.

Morfometría	Huandiestacato	Clasificación
Perímetro (km):	57,1	-
Longitud del cauce principal (km):	12,1	Mediano
Ancho cuenca (km):	5,5	-
Elevación media (msnm):	2339,5	Moderada
Área (km ²):	60,78	Mediana
Altitud mínima:	1940	-
Altitud máxima:	3200	-
Desnivel:	1260	Mediano
Kf ¹ :	0,42	Moderadamente achatada
Kc ² :	2,1	De oval oblonga a rectangular oblonga
I ³ :	2,18	Moderadamente alargada
Km	38,5	Montañosa
Orden:	5	Alto
Densidad de drenaje (km/km ²):	4,1	Alta
Número de escurrimientos:	318,0	Medio
Pendiente del cauce principal:	0,10	Moderada
Tc* (min):	62,4	Moderado
Población:	6944,0	-
Disponibilidad de agua:	Alta	-

¹Coficiente de forma, ²Coficiente de compacidad, ³Índice de alargamiento, ⁴Coficiente de pasividad, *Tiempo de concentración de Pizarro.

Cuadro 9. Características morfométricas de la cuenca Huandiestacato.

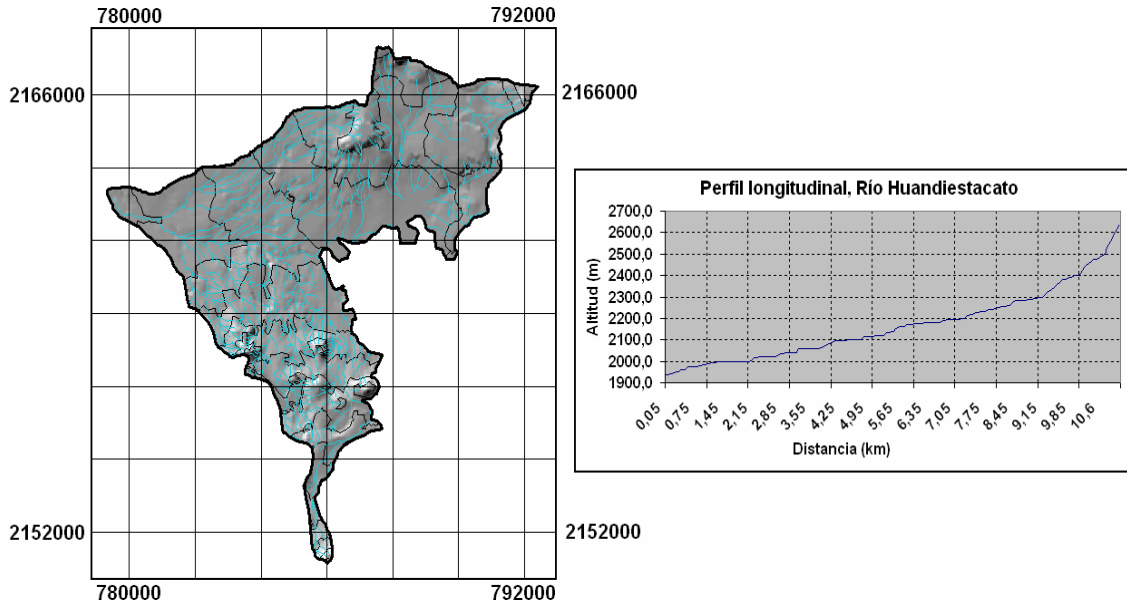


Figura 12. Cuenca y perfil longitudinal de Huandiestacato.

En general, Huandiestacato forma parte de las cuencas de tamaño medio, pero que, por ser un poco alta, la variación climática y de la cobertura vegetal es menor a otras cuencas de menor tamaño (como Chondo, por ejemplo).

La morfometría de esta cuenca indica poca tendencia a la concentración de grandes volúmenes. Lo anterior debe verse con cuidado, pues el sustrato geológico de esta cuenca consiste en gran parte de lavas recientes y campos de cenizas y materiales volcánicos porosos, lo que ayuda a la rápida infiltración del escurrimiento.

Es por ello significativo el hecho de encontrar justo en la salida de esta cuenca un manantial de más de 200 lt/s. Dicha agua es aportada también por las Lavas del Paricútín cuya constitución rocosa no permite el escurrimiento.

3.1i Cuenca La Culebra

Es una de las tres cuencas más importantes tanto en tamaño como en su aporte hídrico a la región (Cuadro 10, Figura 13). Su nombre lo toma de la barranca del mismo nombre donde escurre el cauce principal.

Es además la cuenca de mayor tamaño del área de estudio con sus 102 km². Asimismo, posee una variación altitudinal que condiciona el que tenga la mayor cantidad de ecosistemas de todas las cuencas, mismos que van desde los bosques fríos de Pino hasta los bosques mesófilos de montaña.

Morfometría	La Culebra	Clasificación
Perímetro (km):	45,0	-

Longitud del cauce principal (km):	15,9	Largo
Ancho cuenca (km):	9,8	-
Elevación media (msnm):	2453,6	Alta
Área (km ²):	102,66	Grande
Altitud mínima:	1500	-
Altitud máxima:	3760	-
Desnivel:	2260	Alto
Kf ¹ :	0,41	Moderadamente achatada
Kc ² :	1,2	Redonda a oval redonda
I ³ :	1,6	Moderadamente alargada
Km	23.9	Muy Montañosa
Orden:	6	Alto
Densidad de drenaje (km/km ²):	4,4	Alta
Número de escurrimientos:	510,0	Alto
Pendiente del cauce principal:	0,14	Fuerte
Tc* (min):	95,3	Lento
Población:	1930,0	-
Disponibilidad de agua:	Alta	-

¹Coefficiente de forma, ²Coefficiente de compacidad, ³Índice de alargamiento, ⁴Coefficiente de masividad, ^{*}Tiempo de concentración de Pizarro.

Cuadro 10. Características morfométricas de la cuenca La Culebra.

Es una cuenca con forma redondeada, lo que permite una mayor captación de agua de escurrimiento lo que permite que el cauce principal sea permanente y tenga caudales superiores a los 250 lt/s en la época de estiaje.

También, encuentro a su elevación media es de las más altas, estando por arriba del promedio.

Debido a lo anterior es una cuenca con alta disponibilidad de agua y por lo mismo, es una cuenca prioritaria para el manejo hídrico y la conservación.

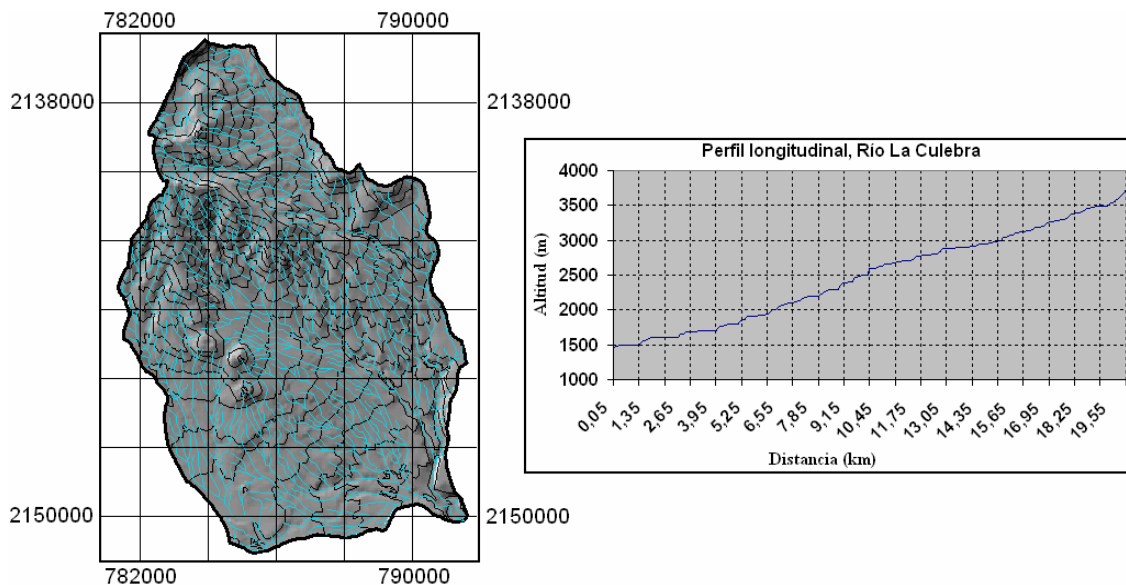


Figura 13. Cuenca y perfil longitudinal de La Culebra.

3.1j Cuenca La Gringa

Esta cuenca se localiza al sur del Tancítaro y es junto con la del Chivo, la cuenca más pequeña del área de estudio. Toma su nombre del arroyo de su cauce principal. Su área es de apenas 12.4 km² (Cuadro 11, Figura 14).

Morfometría	La Gringa	Clasificación
Perímetro (km):	20,0	-
Longitud del cauce principal (km):	8,5	Corto
Ancho cuenca (km):	2,8	-
Elevación media (msnm):	2084,4	Moderada
Área (km ²):	12,48	Muy pequeña
Altitud mínima:	1940	-
Altitud máxima:	2600	-
Desnivel:	660	Bajo
Kf ¹ :	0,17	Muy poco achatada
Kc ² :	1,6	De oval oblonga a rectangular oblonga
I ³ :	3	Muy alargada
Km	167	Moderadamente montañosa
Orden:	4	Medio
Densidad de drenaje (km/km ²):	3,7	Alta
Número de escurrimientos:	54,0	Bajo
Pendiente del cauce principal:	0,07	Moderada
Tc* (min):	36,5	Rápido
Población:	1533,0	-
Disponibilidad de agua:	Baja	-

¹Coefficiente de forma, ²Coefficiente de compacidad, ³Índice de alargamiento, ⁴Coefficiente de masividad, ^{*}Tiempo de concentración de Pizarro.

Cuadro 11. Características morfométricas de la cuenca La Gringa.

Su forma es semejante a la cuenca El Chivo, es decir, más o menos oval pero alargada.

Su desnivel es de apenas 660 m y su altitud máxima llega hasta los 2600 msnm lo que la ubica en la zona baja del Tancítaro.

De la misma forma que la cuenca El Chivo, se ubica en la zona de piedemonte sobre estructuras volcánicas recientes lo que no ha permitido la formación de una red de drenaje bien estructurada, por lo que su densidad de corrientes es baja.

Estas condiciones no permiten una gran captación de agua a pesar de que los coeficientes de compacidad y el de forma indicarían lo contrario. Otro factor que ayuda a que se den estas condiciones es el sustrato volcánico reciente que facilita la infiltración e inhibe el escurrimiento. Debido a todo lo anterior y a que no existen fuentes de agua importantes y si en cambio una densidad poblacional alta, la disponibilidad de agua es baja.

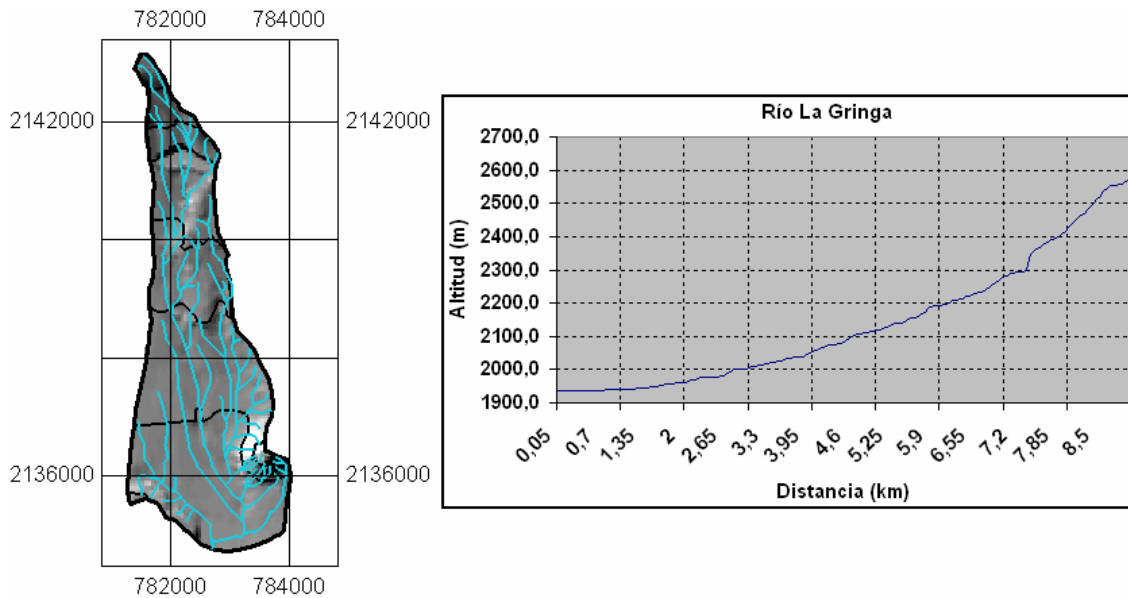


Figura 14. Cuenca y perfil longitudinal de La Gringa.

3.1k Unidad hidrológica Lavas del Parícutín

Esta unidad se localiza al noreste del Tancítaro y su nombre lo toma de la formación geológica del volcán Parícutín. En este caso, no existe un cauce principal y por tanto tampoco existe el tiempo de concentración. Esto se debe a que como se aprecia en la tabla correspondiente, no existen escurrimientos debido a la naturaleza del sustrato geológico. Asimismo, tampoco tiene población (Cuadro 12, Figura 15).

Esta unidad hidrológica ha sido llamada así debido a que no constituye una cuenca en el sentido estricto del concepto. Como ya se mencionó, forma parte de una cuenca mayor en conjunto con las cuencas (subcuenas) de Huandiestacato y Nureto. Sin embargo su inclusión altera sustancialmente los parámetros morfométricos haciendo poco lógica su comparación con las demás cuencas.

Morfometría	Lavas del Parícutín	Clasificación
Perímetro (km):	30,1	-
Ancho cuenca (km):	5,4	-
Elevación media (msnm):	2410,6	Alta
Área (km ²):	25,51	Muy Pequeña
Altitud mínima:	2200	-
Altitud máxima:	2800	-
Desnivel:	600	Bajo
Kf ¹ :	0,53	Moderadamente achatada
Kc ² :	2,1	De oval oblonga a rectangular oblonga
l ³ :	2,6	Moderadamente alargada
Km	94.5	Moderadamente montañosa

Orden:	0	Nulo
Densidad de drenaje (km/km2):	0,4	Baja
Número de escurrimientos:	0,0	Nulo
Población:	0,0	-
Disponibilidad de agua:	Sin disponibilidad	-

¹Coefficiente de forma, ²Coefficiente de compacidad, ³Índice de alargamiento, ⁴Coefficiente de masividad, ⁵Tiempo de concentración de Pizarro.

Cuadro 12. Características morfométricas de la unidad hidrológica Lavas del Paricutín.

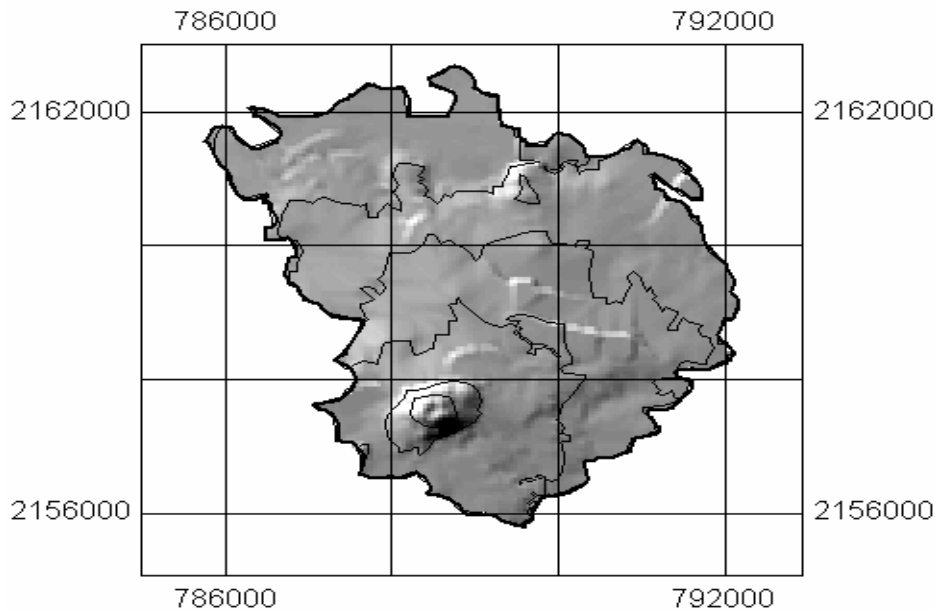


Figura 15. Cuenca y perfil longitudinal de las Lavas del Paricutín.

Por otro lado, el hecho de que esta unidad está conformada por un campo de lavas muy recientes de tipo basáltico, hace que su comportamiento hidrológico sea completamente distinto a todas las demás cuencas.

En este caso, se muestra solo de manera ilustrativa el cuadro de valores morfométricos, pero, solo se hace hincapié en aquellos que tienen relevancia para el análisis y en cambio se mencionan aquellos elementos que hacen de las lavas del Paricutín una unidad hidrológica especial.

En cuanto a los otros parámetros hablamos de una unidad de elevación media con valores altos pero con poca variación altitudinal. Su tamaño la ubica en una de tipo muy pequeño.

Debido a todos estos factores, su importancia es mayúscula desde el punto de vista hidrológico. El hecho de estar formada por lavas recientes de tipo basáltico y que no tenga escurrimientos, convierten a las Lavas del Paricutín en una zona importantísima de recarga de acuíferos del Tancítaro.

3.11 Cuenca Nureto

La cuenca Nureto se localiza al noroeste del Pico de Tancítaro. Es una de las cuencas más grandes del área de estudio. Sin embargo su característica principal radica en su forma, su red hidrológica y el sustrato sobre el que se asienta.

Morfometría	Nureto	Clasificación
Perímetro (km):	67,9	-
Longitud del cauce principal (km):	18,9	Largo
Ancho cuenca (km):	7,3	-
Elevación media (msnm):	2652,2	Alta
Área (km ²):	84,76	Grande
Altitud mínima:	2300	-
Altitud máxima:	3500	-
Desnivel:	1200	Bajo
Kf ¹ :	0,24	Ligeramente achatada
Kc ² :	1,7	De oval oblonga a rectangular oblonga
I ³ :	1,3	Poco alargada
Coefficiente de masividad Km	31.3	Muy Montañosa
Orden:	6	Alto
Densidad de drenaje (km/km ²):	3,7	Alta
Número de escurrimientos:	366,0	Alto
Pendiente del cauce principal:	0,06	Moderada
Tc* (min):	125,1	Lento
Población:	0,0	-
Disponibilidad de agua:	Baja	-

¹Coefficiente de forma, ²Coefficiente de compacidad, ³Índice de alargamiento, ⁴Coefficiente de masividad, ^{*}Tiempo de concentración de Pizarro.

Cuadro 13. Características morfométricas de la cuenca Nureto.

Nureto tiene una forma un tanto extraña ya que su forma alargada le imprime una característica distinta a las demás y que se refleja en sus parámetros morfométricos.

Por ejemplo, el índice de forma es menor a la unidad y por tanto la posibilidad de concentración del agua es menor. Esto es cierto para el caso de Nureto ya que su cauce principal no presenta en campo volúmenes importantes de material acarreado, es decir que no se desarrollan grandes crecidas.

El índice de compacidad confirma lo anterior al presentarse un valor alto para Kc (1.7). Además, el índice de alargamiento es mayor a 1, lo que confirma las características anteriores.

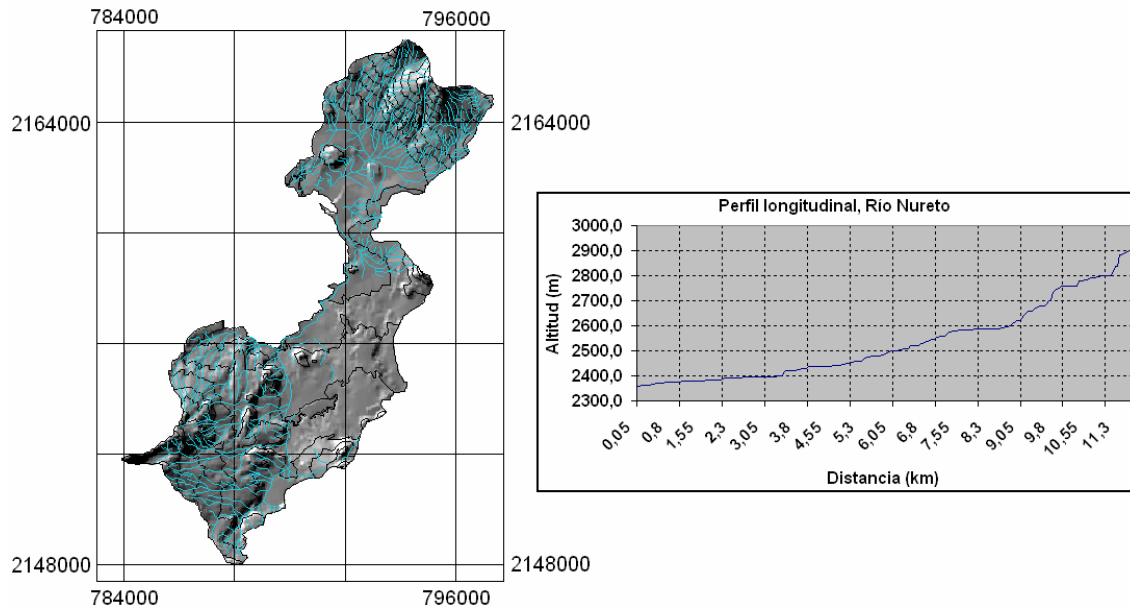


Figura 16. Cuenca y perfil longitudinal de Nureto.

Por otro lado, las características hidrológicas de la densidad de drenaje, el número de escurrimientos y el orden de corriente presentan elementos distintos a la mayoría de las cuencas (Cuadro 13).

Su densidad es menor lo mismo que los otros dos parámetros y esto se debe a que la cuenca se encuentra en un sustrato reciente formado por lavas muy jóvenes y depósitos de cenizas provenientes del Parícutín. Esta condición se presenta sobre todo al centro de la cuenca (Figura 16) donde prácticamente no existen los escurrimientos y por tanto la densidad de corrientes tiende a cero.

Esto es muy importante hidrológicamente hablando, pues significa que la cuenca tiene un gran potencial de infiltración y de evaporación.

3.1m Cuenca San Francisco

La cuenca San Francisco se ubica hacia el norte del Pico de Tancítaro. Es una cuenca de tamaño pequeño con 41.8 km² y un cauce principal de 14 km de largo.

Sus características morfométricas indican una forma alargada y poco achatada (Cuadro 14, Figura 17).

Con respecto a las demás cuencas su elevación es mayor, lo que indica una mayor superficie en zonas altas. Esto se verifica al observar el índice de masividad que la ubica como “montañosa”.

Morfometría	San Francisco	Clasificación
Perímetro (km):	34,8	-
Longitud del cauce principal (km):	14,1	Mediano
Ancho cuenca (km):	4,5	-
Elevación media (msnm):	2473,5	Alta
Área (km ²):	41,80	Pequeña
Altitud mínima:	1800	-
Altitud máxima:	3600	-
Desnivel:	1800	Mediano
Kf ¹ :	0,21	Ligeramente achatada
Kc ² :	1,5	De oval oblonga a rectangular oblonga
I ³ :	3,1	Muy alargada
Km	59.2	Montañosa
Orden:	5	Alto
Densidad de drenaje (km/km ²):	4,7	Alta
Número de escurrimientos:	260,0	Medio
Pendiente del cauce principal:	0,12	Fuerte
Tc* (min):	79,0	Moderado
Población:	1542,0	-
Disponibilidad de agua:	Moderada	-

¹Coefficiente de forma, ²Coefficiente de compacidad, ³Índice de alargamiento, ⁴Coefficiente de pasividad, *Tiempo de concentración de Pizarro.

Cuadro 14. Características morfométricas de la cuenca San Francisco.

Esta cuenca tiene una gran importancia hidrológica pues es una de las pocas que tienen cauce permanente. Los parámetros de densidad de drenaje, orden de corriente y número de escurrimientos así lo indican pues son sensiblemente más altos que la mayoría de las cuencas.

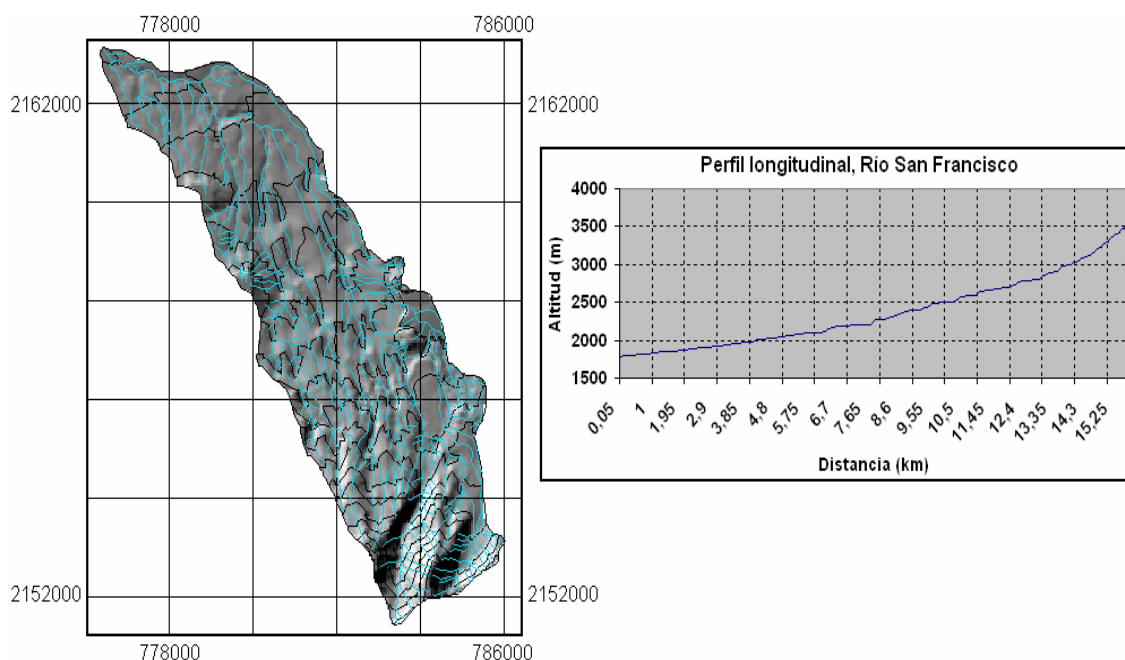


Figura 17. Cuenca y perfil longitudinal de San Francisco.

Por otro lado, la pendiente media de su cauce también es alta lo que ayuda a concentrar volúmenes de agua mayores en menor tiempo.

San Francisco por tanto, presenta una mayor actividad de escurrimiento superficial.

3.1n Cuenca Tancítaro

La cuenca de Tancítaro es una de las cuencas más importantes del Pico de Tancítaro debido sobre todo a que en ella se localiza la población de Tancítaro y cabecera municipal. Se localiza al oeste-suroeste del Pico y tiene un tamaño medio con apenas 66.07 km² (Cuadro 15, Figura 18). Asimismo, es una cuenca cuya característica principal es la alteración que ha sufrido su cauce principal que debería ser permanente y que no lo es debido a que el aprovechamiento total de sus aguas no permite el escurrimiento hasta la salida de la cuenca.

Por tanto, esta cuenca debe ser tratada como una de escurrimiento permanente al observar sus parámetros morfométricos.

Morfometría	Tancítaro	Clasificación
Perímetro (km):	42,3	-
Longitud del cauce principal (km):	17,4	Largo
Ancho cuenca (km):	5,9	-
Elevación media (msnm):	2189,5	Moderada
Área (km ²):	66,07	Mediana
Altitud mínima:	1380	-
Altitud máxima:	3840	-
Desnivel:	2460	Alto
Kf ¹ :	0,22	Ligeramente achatada
Kc ² :	1,5	De oval redonda a oval oblonga
I ³ :	2.95	Muy alargada
Km	33.1	Muy Montañosa
Orden:	6	Alto
Densidad de drenaje (km/km ²):	4,2	Alta
Número de escurrimientos:	337,0	Medio
Pendiente del cauce principal:	0,14	Fuerte
Tc* (min):	109,7	Lento
Población:	9713,0	-
Disponibilidad de agua:	Moderada	-

¹Coficiente de forma, ²Coficiente de compacidad, ³Índice de alargamiento, ⁴Coficiente de masividad, *Tiempo de concentración de Pizarro.

Cuadro 15. Características morfométricas de la cuenca Tancítaro.

La cuenca presenta un cauce largo y un área de tamaño mediano. Su diferencia altitudinal pronunciada y su coeficiente de masividad bajo indican la tendencia a concentrar fuertes volúmenes de agua.

Los parámetros de la red fluvial tales como el número de escurrimientos, el orden de corrientes y la densidad de drenaje así lo confirman, pues sus valores son altos en general.

Lo mismo se puede apreciar con el valor de la pendiente del cauce principal.

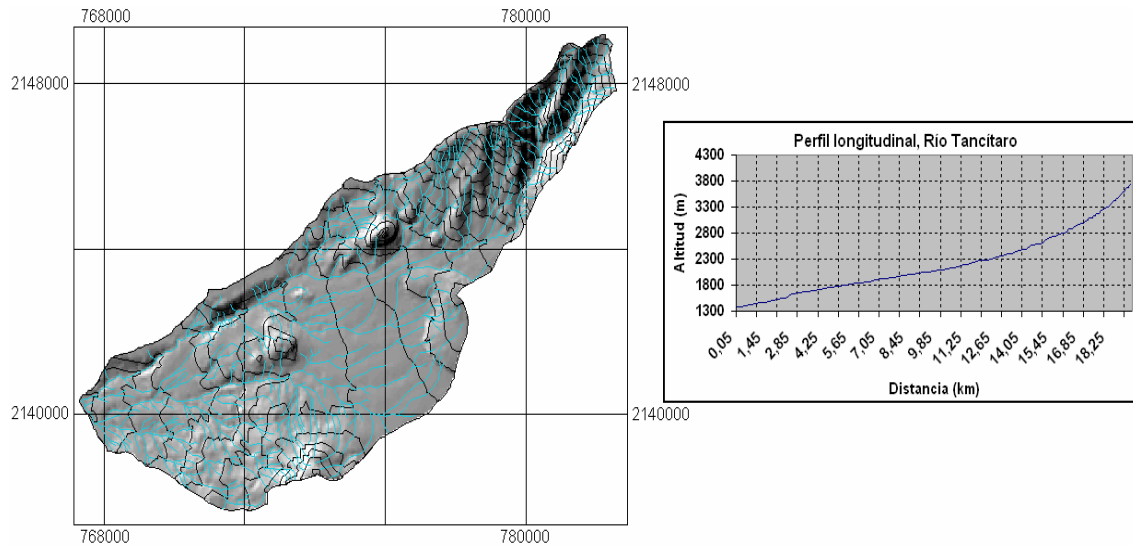


Figura 18. Cuenca y perfil longitudinal de Tancítaro.

Respecto al tiempo de concentración se observa un tiempo mayor entre la ocurrencia de la lluvia y la presencia de las crecidas. Esto indica nuevamente la capacidad de la cuenca para servir como cuenca de escurrimiento.

Finalmente, en la relación agua-población, resulta una disponibilidad moderada de agua. Lo anterior debe poner en alerta el manejo del agua pues pronto podría rebasarse este nivel y ubicar la cuenca en una con baja disponibilidad.

3.1o Cuenca Zacándaro

Zacándaro es una cuenca que se localiza al sureste del Tancítaro. Su tamaño más bien pequeño destaca por la cantidad de agua que produce y por tener en consecuencia un escurrimiento permanente.

Las características morfométricas de la red fluvial y sus indicadores de forma y altitudinales presentan similitud con la cuenca de La Culebra.

Dichos parámetros indican una cuenca montañosa y moderadamente alargada pero con gran número de escurrimientos y orden y densidad de corrientes con valores altos (Cuadro 16, Figura 19).

Además, los valores de forma, compacidad y alargamiento indican también tendencia a concentrar fuertes volúmenes de agua.

Es obvio asimismo, que la localización de la cuenca en la zona más lluviosa del Tancítaro facilita la disponibilidad de agua. Pero sus parámetros también lo permiten de esta manera.

Morfometría	Zacandaro	Clasificación
Perímetro (km):	34,8	-
Longitud del cauce principal (km):	12,0	Mediano
Ancho cuenca (km):	6,5	-
Elevación media (msnm):	2224,0	Moderada
Área (km ²):	51,16	Pequeña
Altitud mínima:	1500	-
Altitud máxima:	3040	-
Desnivel:	1540	Mediano
Kf ¹ :	0,36	Moderadamente achatada
Kc ² :	1,4	De oval redonda a oval oblonga
I ³ :	1,83	Moderadamente alargada
Km	43.5	Montañosa
Orden:	5	Alto
Densidad de drenaje (km/km ²):	3,9	Alta
Número de escurrimientos:	368,0	Alto
Pendiente del cauce principal:	0,13	Fuerte
Tc* (min):	61,8	Moderado
Población:	1021,0	-
Disponibilidad de agua:	Alta	-

¹Coefficiente de forma, ²Coefficiente de compacidad, ³Índice de alargamiento, ⁴Coefficiente de masividad, *Tiempo de concentración de Pizarro.

Cuadro 16. Características morfométricas de la cuenca Zacándaro.

Finalmente, debido a lo anterior y a una buena relación población-cantidad de agua, la disponibilidad de agua de esta cuenca es alta.

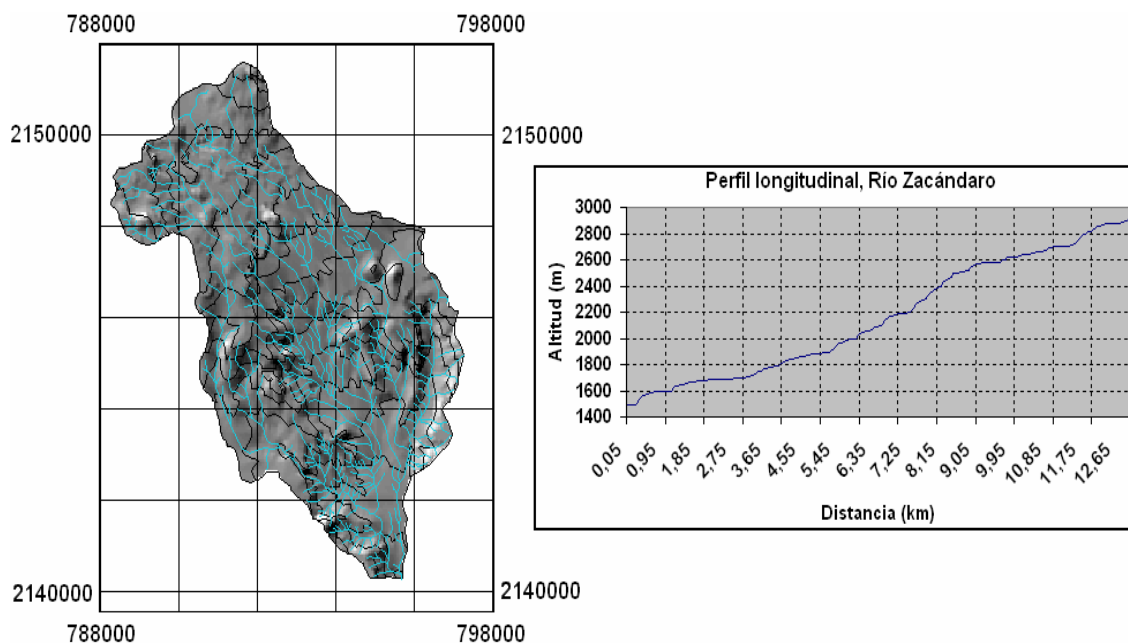


Figura 19. Cuenca perfil longitudinal de Zacándaro.

3.1p Cuenca Zirimóndiro

Esta última cuenca, se localiza al sur del Pico de Tancítaro. Es una cuenca muy pequeña con menos de 30 km² y presenta un cauce principal mediano con poco más de 14 km de largo.

Es una cuenca con parámetros morfométricos moderados, sin grandes variaciones o alejados de los promedios (Cuadro 17).

Morfometría	Zirimóndiro	Clasificación
Perímetro (km):	34,4	-
Longitud del cauce principal (km):	14,3	Mediano
Ancho cuenca (km):	3,5	-
Elevación media (msnm):	2266,8	Moderada
Área (km ²):	28,81	Muy pequeña
Altitud mínima:	1900	-
Altitud máxima:	3700	-
Desnivel:	1800	Mediano
Kf ¹ :	0,14	Muy poco achatada
Kc ² :	1,8	De oval oblonga a rectangular oblonga
I ³ :	4,1	Muy alargada
Km	78.7	Moderadamente montañosa
Orden:	4	Medio
Densidad de drenaje (km/km ²):	3,4	Moderada
Número de escurrimientos:	104,0	Bajo
Pendiente del cauce principal:	0,12	Fuerte
Tc* (min):	81,5	Moderado
Población:	855,0	-
Disponibilidad de agua:	Moderada	-

¹Coefficiente de forma, ²Coefficiente de compacidad, ³Índice de alargamiento, ⁴Coefficiente de masividad, ^{*}Tiempo de concentración de Pizarro.

Cuadro 17. Características morfométricas de la cuenca Zirimóndiro.

La elevación media es moderada con 2266 msnm lo que indica cierto balance altitudinal. Debido a que su variación altitudinal no es pronunciada, la cuenca no presenta grandes variaciones climáticas ni en su cobertura vegetal.

En cuanto a su forma, se presenta una de tipo alargada, poco achatada y circularidad menor (Figura 20), con un coeficiente de masividad alto lo que produce una cuenca oblonga y moderadamente montañosa, sin mucha capacidad para concentrar el agua de escurrimiento.

La cuenca no presenta un escurrimiento permanente a lo largo de su cauce principal, aunque si presenta escurrimiento permanente en su salida debido a que coincide con la presencia de un manantial de regular volumen.

En cuanto a los valores relacionados con la red fluvial. Todo indica la tendencia a una baja capacidad de concentración de aguas de escurrimiento.

Ello se observa por el desarrollo de una red de drenaje de bajo orden y un número bajo de escurrimientos naturales.

En cuanto a la densidad de drenaje, ésta presenta valores moderados.

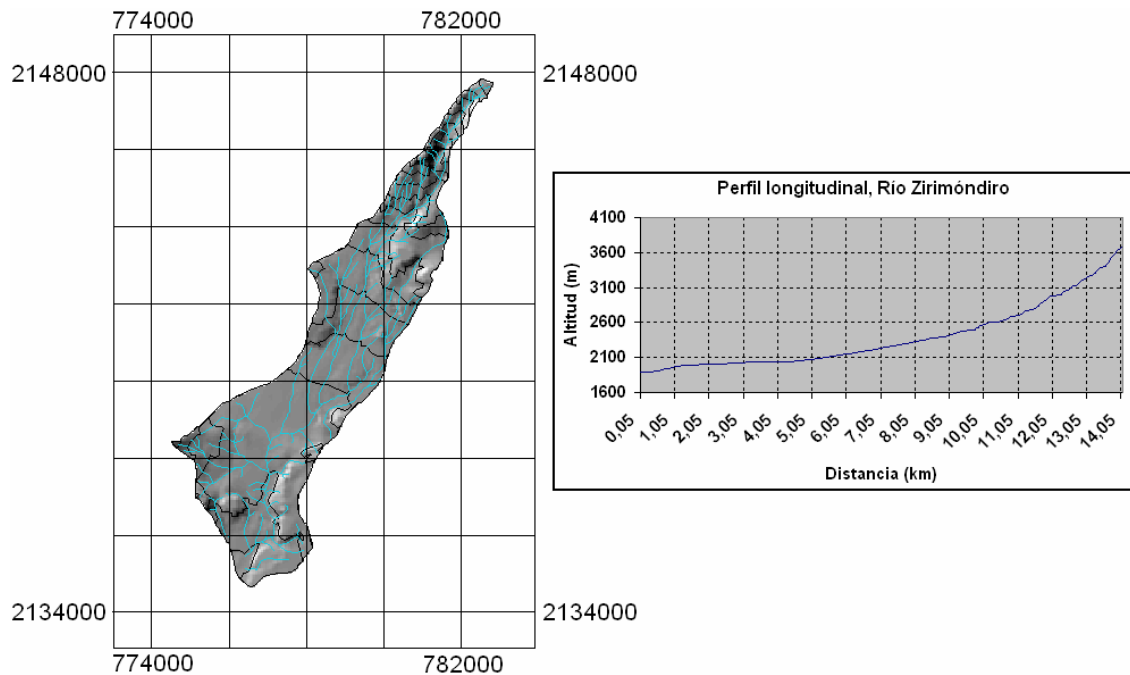


Figura 20. Cuenca y perfil longitudinal de Zirimóndiro.

La relación agua-población es moderada, debido sobre todo a la presencia del manantial mencionado y a la cantidad menor de población dentro de la cuenca.

4. Conclusiones y recomendaciones

4.1 Conclusiones

1. Las cuencas del Tancítaro presentan grandes irregularidades entre sí, pudiendo agruparse de acuerdo a sus diversas características. Tomando en cuenta su tamaño, se pueden destacar los siguientes grupos:
 - a. Un primer grupo de cuenca muy pequeñas conformado por El Chivo, La Gringa, Cutio, Chuanito y Hoyicazuela.
 - b. Un segundo grupo conformado por la gran mayoría de las cuencas con tamaños pequeño a mediano. En este grupo se encuentran cuencas como Tancítaro, Apo, Zacándaro, San Francisco y Chondo.

- c. Y un tercer grupo de cuencas grandes conformado por las cuencas La Culebra, Tancítaro, Nureto y Huandiestacato.
2. En cuanto a la forma podemos diferenciar tres conjuntos muy bien definidos:
 - a. El grupo de cuencas alargadas con anchuras muy cortas y que se asocian a áreas de baja densidad de drenaje. Se encuentran aquí, cuencas como La Gringa, El Chivo, y Zirimóndiro.
 - b. Un segundo grupo de formas ovaladas con una alta densidad de drenaje y gastos de agua mayores a las demás cuencas. La Culebra, Tancítaro y Zacándaro son parte de este grupo.
 - c. Finalmente, un grupo de cuencas con formas muy irregulares asociadas a las lavas del Parícutín, en general, con baja densidad de drenaje, pero sobre todo con una red inexistente o poco estructurada.
 3. Asimismo, también podemos agrupar las cuencas de acuerdo con su disponibilidad y cuyo agrupamiento ya se mencionó en el desarrollo del trabajo y consiste en tres grupos: Alta, Moderada y Baja disponibilidad (Figura 21).

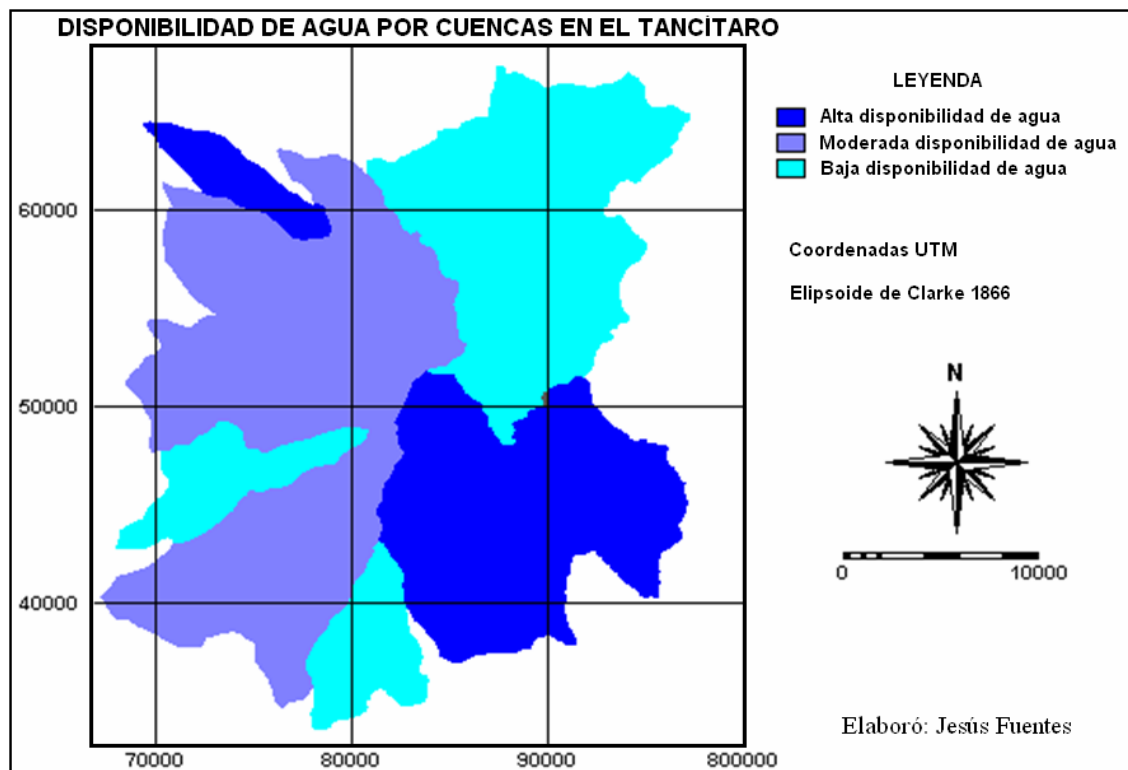


Figura 21. Disponibilidad de agua por cuencas.

4.2 Recomendaciones

Debido a las características tan heterogéneas de las cuencas del Tancítaro, es necesario definir áreas prioritarias para el manejo del agua. Una propuesta de este tipo, ya fue realizada por el autor en un informe para el INE realizado anteriormente.

Es importante definir acciones concertadas para el adecuado manejo del recurso hídrico en las cuencas que nacen en el Tancítaro. Su importancia para la región como áreas productoras de agua ya ha sido destacada anteriormente y en este estudio se confirma dicha importancia.

También, es de vital importancia para mantener el abasto de agua incluir el recurso hídrico como recurso prioritario dentro del esquema de manejo del área natural protegida y no nada más como un elemento descriptivo del paisaje.

Lo anterior requiere esfuerzos para plasmar en el plan de manejo correspondiente del área natural protegida, directrices y metas prioritarias dirigidas a mantener intacto este recurso.

5. Bibliografía

Bocco G. y Garibay C., 2000. Legislación Ambiental y Áreas Naturales Protegidas. El caso de la microregión del Pico de Tancítaro, Mich. Informe Técnico Final. PROFEPA-SEMARNAP. Morelia, Mich.

CONABIO, 1999. **Regiones Prioritarias Terrestres**. Escala 1:1,000,000. México.

Fuentes J. J., 2000. **Evaluación del deterioro ambiental en áreas naturales protegidas. Un enfoque geomorfológico. El caso del Parque Nacional Pico de Tancítaro, Michoacán**. Tesis de Maestría. Facultad de Filosofía y Letras, UNAM, México.

Fuentes J.J. y Bocco G., 2003. **El Agua: dinámica y análisis regional**. En: Velásquez A., Torres A. y Bocco G. (Comps.). Las Enseñanzas de San Juan. Investigación participativa para el manejo integral de recursos naturales. Instituto Nacional de Ecología-SEMARNAP, Gobierno del Estado de Michoacán. México. 603 p.

Gregory J.K. and Walling E.D. 1985. **Drenage Basin Analysis**. The Bath Press. Victoria, Australia. 451 p.

INEGI, 1996. **Anuario Estadístico del Estado de Michoacán**. INEGI-Gobierno del Estado de Michoacán. México. 435 p.

INEGI, 1997. **Estadísticas del Medio Ambiente, 1997**. Informe de la situación general en material de equilibrio ecológico y protección al ambiente, 1995-1996. INEGI. México. 461 p.

Maidment D.R. 1992. **Handbook of Hydrology**. McGraw Hill. New York.

Torres A. y Bocco G., 1999.

Verstappen H. Th., 1983. **Applied Geomorphology**. Geomorphological Surveys for Environmental Development. ITC. Enschede, The Netherlands. 437 p.