

CAPÍTULO II

CARACTERIZACIÓN HIDROLÓGICA DE LA SUBCUENCA

2.1. Aspectos Generales

Según Brooks (1989), la cuenca se considera como una unidad de territorio que capta la precipitación, en ésta transita el escurrimiento hasta un punto de salida en el cauce principal o es un área que está delimitada por una divisoria topográfica que drena a un cauce común. También se define como la totalidad del área drenada por una corriente o sistema interconectado de cauces, tales que todo el escurrimiento originado en tal área es descargado a través de una única salida.

Considerando el punto de vista de su funcionamiento, la cuenca puede caracterizarse, entre otros, por su morfología, la naturaleza del suelo y cobertura vegetal.

La influencia de estos factores sobre la transformación de la precipitación en escorrentías puede ser conocida de forma cualitativa a partir de la descripción desde el punto de vista de la morfología de la cuenca.

Los parámetros que caracterizan ideológicamente a la subcuenca del Río Cuxtepeques, fueron cuidadosamente calculados para contar con criterios que después fueron utilizados al momento de las recomendaciones tendentes a al manejo de la subcuenca, la contención de azolves en la presa y la prevención de inundaciones en el área del valle colindante a la presa.

El procedimiento de cálculo se realizó para cada uno de los parámetros morfométricos de la subcuenca a partir del plano base, en el cual se incluyó la red de drenaje. Las mediciones fueron realizadas a través de la cartografía digital en Arc View 3.2, alimentado con observaciones y pruebas de campo para definir cada uno de los parámetros. Con la información generada en este capítulo, el diagnóstico del estado de los recursos naturales, así como la evaluación de la erosión de suelos permitió generar diferentes escenarios de

manejo que predican el comportamiento hidrológico en la zona, lo cual se incluye en la integración del plan de manejo.

A continuación se describe la metodología empleada para obtener cada uno de los parámetros en la caracterización hidrológica de la subcuenca.

2.2. Metodología

A continuación se describe brevemente cada uno de los parámetros empleados en la caracterización hidrológica de la subcuenca.

2.2.1. Características de la subcuenca

Área

El área de la subcuenca se concibe como la proyección ortogonal del parte aguas, la cual fue delimitada en el plano topográfico escala 1:50 000 posteriormente se digitalizó y la superficie se obtuvo auxiliándose del software Arc View 3.2.

Perímetro

Una vez delimitada el área de estudio, de la misma forma que el anterior, se estimó el perímetro del parteaguas de la subcuenca.

Longitud del cauce principal

El cauce considerado como principal fue el de mayor longitud y número de orden. Su longitud se calculó con la ayuda del software Arc View 3.2.

Intervalo de altitud

El intervalo de altitud del cauce principal fue extraído del Modelo Digital de Elevaciones como una sección transversal del mismo.

Pendiente del cauce principal

Se obtiene con la diferencia de elevaciones que existe entre el punto de inicio del cauce principal y la parte más baja de mismo. Este parámetro fue evaluado con la siguiente relación:

$$Pendiente = \frac{AH * 100}{L}$$

AH: Desnivel entre el parteaguas más alejado y la boquilla

L: Longitud de la corriente principal

Para obtener la pendiente media de la cuenca se hace uso del método de Horton, Alvord y Nash.

Tipo de drenaje

La configuración de las redes fluviales en el producto de las influencias que tienen sobre ellas los suelos, las rocas, el grado de fracturación, estratificación y topografía.

Los más comunes son:

- a) Dendrítico
- b) Enrejado
- c) Radial
- d) Paralelo
- e) Anular
- f) Rectangular

2.2.2. Morfometría

Algunas características particulares de la cuenca que tienen relación con procesos como erosión hídrica, comportamiento del escurrimiento superficial, tiempo de concentración, etc., se les conoce en su conjunto como morfometría.

Índice de forma

Relación entre el área de la cuenca y la longitud axial de la misma desde la salida hasta el límite extremo por medio de una línea recta. Cuando el valor recíproco del índice es menor o igual a 5, la forma de la cuenca tenderá a un círculo y cuando sea mayor o igual a 6, la forma será alargada (en estos últimos los escurrimientos se encuentran más lentamente), este parámetro se calcula con la expresión siguiente.

(Índice de Horton)

$$IF = \frac{A}{La^2}$$

- IF* = Índice de forma
- A* = Área de la cuenca
- La* = Longitud axial de la cuenca en línea

Relación de elongación

Es la relación entre el diámetro de un círculo de igual área que la cuenca y la máxima longitud de la cuenca.

$$Re = \frac{D}{Lc} = 2 * \frac{\sqrt{\frac{A}{\pi}}}{Lc}$$

- Re= Relación de elongación*
- D= Diámetro de un círculo de igual perímetro de la cuenca en km (igual a 2r)*
- Lc= Máxima Longitud de la cuenca en línea*
- A= Área de la cuenca*

Relación de circularidad

Es la relación que existe entre el área de la cuenca y el área de un círculo que tiene el mismo perímetro de la cuenca.

$$Rc = A / Ac = 12A / p^2$$

- Rc= Relación de circularidad*
- A= Área de la cuenca km² ó has.*
- Ac= Área de un círculo que tenga el mismo perímetro de la cuenca en km².*
- P= Perímetro de un círculo en km.*

Densidad de drenaje

Es la relación de la cantidad de corrientes existente en la cuenca y el área total de la misma

$$Dd = \frac{Lc}{A}$$

- Dd = Densidad de drenaje*
- Lc= Longitud total*
- A= Área de la cuenca*

Relación de bifurcación

Relación entre el número de corrientes de un orden determinado entre el número de corrientes de orden inmediato superior.

$$Rb = \frac{Nc}{Nc++}$$

- Rb = Relación de bifurcación*
- Nc= Número de corrientes de un orden determinado*
- Nc++= Número de corrientes de un orden inmediato superior*

Índice de compacidad

Es la relación entre el perímetro de la cuenca y el perímetro de un círculo que tenga la misma área de la cuenca, para lo cual se generó la siguiente expresión matemática.

$$K = \frac{0.28 * P}{\sqrt{A}}$$

K = Índice de compacidad
P= Perímetro de la cuenca en Km
A= Área de la cuenca en km²

Pendiente media de la Cuenca

Para calcular la pendiente; los métodos comúnmente empleados son los de Alvord, Horton y Nash. Los cuales fueron muy utilizados hasta antes del surgimiento de los equipos de cómputo y los Modelos Digitales de Elevación. En este caso, la pendiente media se estimó a partir del criterio de Alvord, que considera que el valor es igual a la longitud total de curvas de nivel dentro del área, multiplicada por el desnivel entre éstas y dividida por el tamaño de la cuenca

Altura media de la cuenca

Es el resultado de dividir el área comprendida bajo la curva hipsométrica entre la longitud que representa la superficie de la cuenca.

$$hm = \frac{Ac}{Lc}$$

hm = Altura media de la cuenca en km
Ac= Área comprendida bajo la curva hipsométrica en Km.
Lc= Longitud máxima de la cuenca en km

Coefficiente de masividad

Para considerar el relieve, se hace uso del coeficiente de masividad (cm), el cuál es resultado del cociente de la altura media de la cuenca en km y la superficie en km².

$$Cm = \frac{hm}{A}$$

Cm = Coeficiente de masividad cm
hm= Altura media de la cuenca km.
A= Superficie proyectada en km²

Coeficiente orográfico (O)

Este índice combina los dos parámetros del relieve actuantes en los procesos erosivos: la altura media sobre la energía potencial del agua; y la inclinación característica de las laderas de la cuenca sobre la energía cinética del flujo de la escorrentía superficial. Este resulta de multiplicar el coeficiente de masividad por la altura media.

$$Co = (Cm * hm) = \frac{hm}{A} * hm$$

Co = Coeficiente orográfico
 hm = Altura media en km
 A = Área de la cuenca en km²

2.3. Resultados

2.3.1. Características de la subcuenca

Área

Además del simple hecho de conocer el valor de la superficie de la cuenca para su clasificación, el valor es empleado en la estimación de otros parámetros.

El área que ocupa la Subcuenca del Río Cuxtepeques, a la altura del embalse Juan Sabinés Gutiérrez es de 609.76 km², (60 976 ha). En el Cuadro 2.1 se muestra la distribución de la superficie por microcuenca.

Cuadro 2.1. Conformación superficial de las microcuencas en la Subcuenca del Río Cuxtepeques.

Microcuenca	Perímetro (km)	Superficie (ha)	Superficie (km ²)
Cuxtepeques Alta	48.57	10880.40	108.80
Cuxtepeques Media	69.82	13519.24	135.19
El Naranjo	51.48	8871.90	88.72
El Negrito	44.18	8544.38	85.44
El Plan	53.58	10085.86	100.86
El Zapote	49.94	9074.22	90.74
Total		60976.00	609.76

Perímetro

La longitud del parte aguas de la parte Alta y Media de la Subcuenca de Río Cuxtepeques es alrededor de 123.684 km.

Longitud del Cauze Principal

La longitud del cauce del Río Cuxtepeques es de 45.69 km

La longitud del cauce es un factor que influye junto con la pendiente y el intervalo de altitud del mismo sobre el tiempo de concentración (T_c), el cual se define como el tiempo que tarda una gota en recorrer la cuenca desde el punto mas alejado de la boquilla hasta la salida.

Intervalo de altitud.

Este parámetro es la presentación gráfica del recorrido del cauce principal a lo largo de la cuenca y sus respectivas elevaciones. El inicio de la corriente es a una elevación de 1719.7 y desemboca a 577 metros sobre el nivel del mar, misma que se presenta en la Figura 2.1.

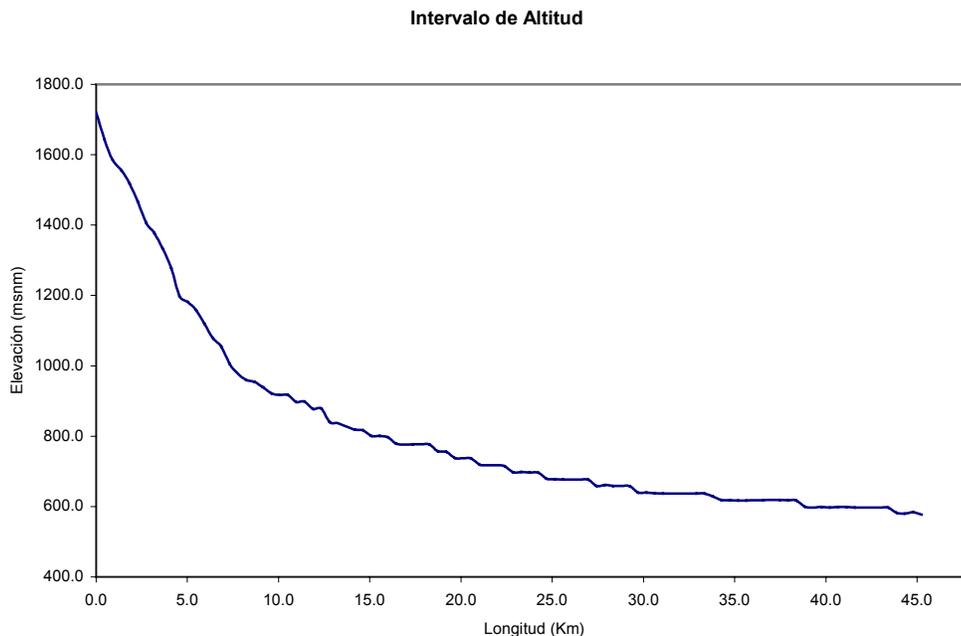


Figura 2.1. Representación gráfica de los intervalos de altitud del cauce principal de la Subcuenca del Río Cuxtepeques.

Pendiente del cauce principal.

La pendiente del cauce es el producto del desnivel desde el punto más alejado del parte aguas y la boquilla entre la longitud del cauce principal (m), obteniéndose una pendiente de 2.5%.

Dada la longitud, pendiente y sección longitudinal del cauce, se tiene que los primeros 5 km. de recorrido presentan una mayor velocidad de flujo que disminuye gradualmente hasta los

25 km, al inicio de la zona de depositación de la cuenca. Por lo que al final de la primera fracción del cauce se observa una mayor capacidad del flujo superficial para el transporte de sedimentos, así mismo la afluencia rápida de escurrimientos sobre el río a la altura de los 25 km de cauce.

Tipo de drenaje

El área de captación y la red a través de la cual fluye hacia un punto más bajo es referido normalmente como sistema de drenaje. El patrón mostrado en la subcuenca del Río Cuxtepeques es de tipo dendrítico. Este tipo de drenaje es debido principalmente a que las condiciones geológicas asociadas con pendientes pronunciadas presentan facilidad para la deformación del terreno por el flujo superficial.

2.3.2. Morfometría

Índice de forma

Es la relación que existe entre la longitud del cauce principal y el área de drenaje, se calcula con la fórmula siguiente:

$$I_f = A / L_b^2$$

$$I_f = 609.76 / 45.69^2 = 0.29$$

Según Monsalve (1999), es la relación que existe entre el ancho medio y la longitud axial de la cuenca. La longitud axial es la dimensión máxima de la cuenca considerándola como una línea recta desde la salida hasta la divisoria de la Subcuenca en estudio es de 35.62 km.

Relación de elongación.

Esta relación de la subcuenca calculada arrojó el siguiente resultado **0.782**, lo que indica que las condiciones de relieve intermedio son abruptas, al menos en parte del área de estudio.

El valor coincide con lo observado, debido a que en la parte alta existen laderas pronunciadas, mientras que en la porción media y baja la pendiente es menor.

Relación de circularidad

La relación de circularidad presente en la subcuenca se obtuvo con la siguiente relación:

$$R_c = A / A_c = 12A / p^2$$

Sustituyendo con los valores de área de la subcuenca y perímetro, se tiene que $R_c=0.478$, que se refiere a una forma oblonga cercana a la redonda.

Dados los valores de índice de forma y relación de circularidad, es posible deducir de forma empírica el comportamiento del hidrograma unitario que presenta la cuenca, el cual es mostrado en la Figura 2.2:

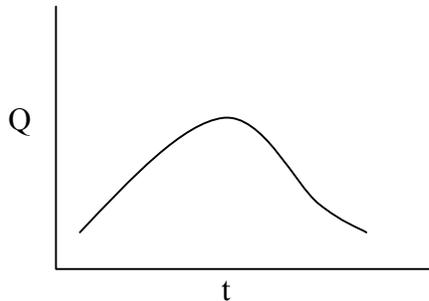


Figura 2.2. Hidrograma unitario

Densidad de drenaje.

Señala la relación entre el número de corrientes de la cuenca y su área. Está definida para una cuenca dada, como la longitud media de curso por unidad de superficie.

Se calcula con la siguiente expresión:

$$D = \frac{\sum Li}{A}$$

Donde :

D = Densidad de drenaje (km^{-1})

$\sum Li$ = suma de los cauces que integran la cuenca 770.92 km

A = Superficie de la cuenca 609.76 km^2

Obteniéndose el siguiente resultado:

$$D = 1.26 \text{ km}^{-1}$$

En un principio y sin tener en cuenta otros factores del medio físico de la cuenca, cuanto mayor sea la densidad de drenaje, más rápida será la respuesta de la cuenca frente a una tormenta, evacuando el agua en menos tiempo, esto es, al ser la densidad de drenaje más alta, una gota deberá recorrer una longitud de ladera pequeña, realizando la mayor parte del recorrido a lo largo de los cauces, donde la velocidad del escurrimiento es mayor, y por lo tanto, los hidrógramas tendrán un tiempo de concentración muy corto. La densidad de drenaje se aprecia en el mapa de la red de drenaje de la subcuenca.

Relación de Bifurcación.

Se define como la relación que existe entre el número de corrientes de un orden y el número de corrientes del orden inmediato superior. Su valor varía de 1 a 10, los valores cercanos a la unidad presentan hidrógramas sin punta y viceversa. La ecuación siguiente es la que se utiliza para calcular la relación de bifurcación de un orden dado.

$$Rb = \frac{Nu}{Nu + 1}$$

Donde:

Rbu = Relación de bifurcación de orden u

Nú = Número de corrientes de orden u

Nu+1 = Número de corrientes de orden u+1

En el Cuadro 2.2 se reportan los resultados de los diferentes ordenes de corrientes que se presentan en la parte Alta y Media de la Subcuenca del Río Cuxtepeques, Chiapas.

Cuadro 2.2. Relación de bifurcación de corrientes en la parte Alta y Media de la Subcuenca del Río Cuxtepeques.

Orden	Un	Rbu
1	556	3.91
2	142	4.73
3	30	5
4	6	3
5	2	2
6	1	

La clasificación de las corrientes, es el orden que refleja el grado de ramificación o bifurcación dentro de una cuenca, por lo que la Subcuenca del río Cuxtepeques, es una cuenca del sexto orden.

El valor promedio de la relación de bifurcación es de 3.728, lo cual indica, que en promedio entroncan 3.728 tributarios por corriente. Esto refleja una eficiencia alta en el desalojo de los escurrimientos superficiales.

Índice de compacidad

H. Gravelius, la definió como el cociente adimensional entre el perímetro de la cuenca (P) y el perímetro de un círculo (Pc) con la misma área que la cuenca.

Estableciéndose la siguiente relación:

$$Cc = P/(Pc) = P / (2\pi r) = 0.28 * (P/ A^{1/2})$$

Cc	Forma
1 – 1.25	Redonda
1.25 – 1.5	Ovalada
> 1.5	Oblonga

Obteniéndose el siguiente resultado: Cc = **1.40**

El resultado anterior indica que la subcuenca presenta una forma ovalada. El valor de este parámetro refleja el comportamiento del hidrograma el cual fue mostrado en el punto correspondiente a la relación de circularidad de la subcuenca.

Pendiente media de la subcuenca:

La pendiente media de una subcuenca es el cociente entre la diferencia de la elevación máxima (H) medida entre el punto más alto del límite de ésta y la desembocadura del cauce principal y la mitad de su perímetro.

Para su estimación se presentan varios criterios. Según el criterio de J. W. Alvord, es igual a la longitud total de curvas de nivel dentro de ella, multiplicada por el desnivel constante entre éstas y dividida entre el tamaño de la cuenca.

Su expresión es la siguiente:

$$J = 100 * ((\sum Li * E) / A)$$

Donde:

- J = pendiente media de la cuenca, en porcentaje
- $\sum Li$ = Suma de las longitudes de las curvas de nivel (km)
- E = Equidistancia entre curvas de nivel (km)
- A = Superficie de la cuenca (km²)

La pendiente media de la Subcuenca es de 42.48 %.

El valor resultante tiene una importante pero compleja relación con la infiltración, escurrimiento superficial, humedad del suelo y la contribución del agua subterránea al flujo de los cauces. Según Wisler y Brater (1959), es uno de los factores físicos que controlan el tiempo de flujo sobre el terreno y tiene influencia directa en las avenidas o crecidas.

Altura media de la subcuenca.

Se calculó mediante el uso de la curva hipsométrica, que es la relación que existe entre las áreas horizontales de la Subcuenca en relación con su altura. Es una representación gráfica de las elevaciones del terreno en función de las superficies correspondientes.

De acuerdo a los datos obtenidos y la elaboración de la curva hipsométrica mostrada en la Figura 2.3 se obtuvo que la Altitud media de la Subcuenca es de 1130 msnm.

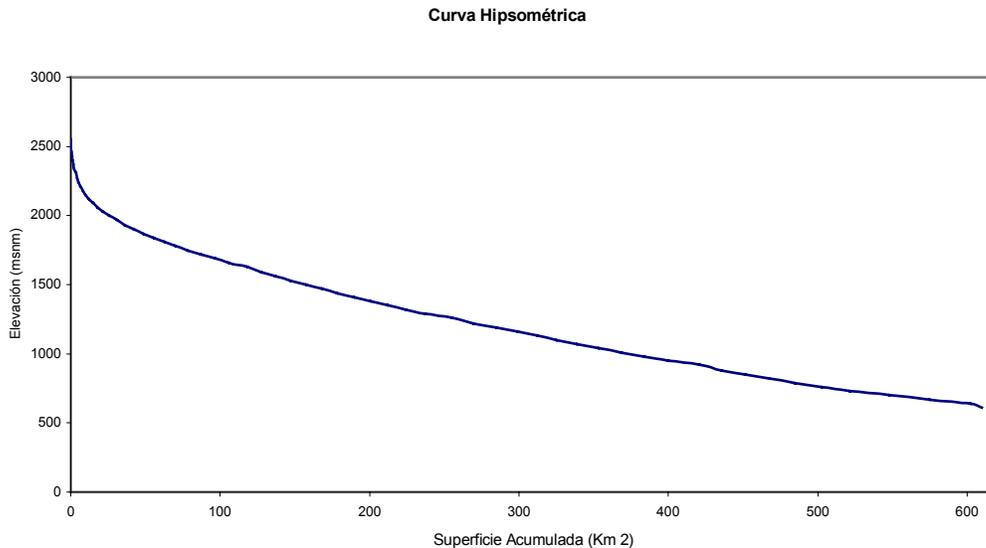


Figura 2.3. Curva hipsométrica de la parte Alta y Media del Río Cuxtepeques.

De acuerdo con la forma de la curva anterior, se puede decir que la Subcuenca se encuentra en una etapa de equilibrio, es decir se trata de una cuenca geológicamente madura.

Con la información de los parámetros de relieve descritos hasta este momento, es posible hacer una modificación al hidrógrama unitario presentado anteriormente, es decir, de acuerdo a los últimos índices, el comportamiento del gasto a través del tiempo presenta un pico debido a las fuertes pendientes en la parte alta del área así como la pendiente y curva hipsométrica de la Subcuenca.

Coefficiente de masividad.

El coeficiente de masividad junto con el coeficiente orográfico, son los índices más utilizados para caracterizar el relieve dentro del proceso erosivo.

Se representa por $tg\alpha$, obtenido por Martone. Su valor es el producto del cociente entre la altura media de la cuenca (en metros) y la superficie de la cuenca (km^2).

El valor del coeficiente de masividad para la Subcuenca es de **1.85**. Este cociente permite diferenciar cuencas de igual altura media y relieves distintos, aun cuando no es suficiente para caracterizar la susceptibilidad a la erosión de una cuenca, pues da valores iguales en el

caso de cuencas diferenciadas, por ejemplo cuando la altura media y superficie aumenten proporcionalmente.

Coefficiente orográfico

Este índice combina los dos parámetros del relieve actuantes en los procesos erosivos; es decir la altura media sobre la energía potencial del agua; y la inclinación característica de las laderas de la cuenca sobre la energía cinética del flujo del escurrimiento superficial.

Se calcula con el producto de la altura media de la cuenca y el coeficiente de masividad.

Para la Subcuenca del Río Cuxtepeques, el C. O. es de **2094.098**, lo que indica un relieve accidentado.

Índice Topográfico

Una de las características por de más importantes en cuanto al entendimiento de las cuencas hidrológicas es el relieve, ya que de éste dependen de manera directa o indirecta los fenómenos relacionados al comportamiento del agua en la cuenca.

Dentro de este apartado, se realiza el análisis de uno de los parámetros poco empleados en México. El índice topográfico (TI) del área de estudio, fue estimado con el modelo TOPMODEL, integrado al software GRASS.

El índice topográfico (TI) se define como:

$$TI = \ln(a/\tan\beta)$$

Donde: a es el área de contribución por unidad de longitud de contorno (A/c) y $\tan\beta$ es la pendiente local, cuantitativamente representa el efecto de la topografía sobre el comportamiento hidrológico de un área de contribución determinada. El área de captación aguas abajo está definida por la forma de la red hidrológica, así como la amplitud de los ríos.

El área específica de captación es una relación entre un área dada (CA), la cual está formada en una parte por la intercepción en el contorno b con un punto sobre la superficie y otro por las líneas de flujo l_1 y l_2 que van de las zonas aguas arriba al final de la intercepción del contorno b y la longitud de este ultimo (Figura 2.4)

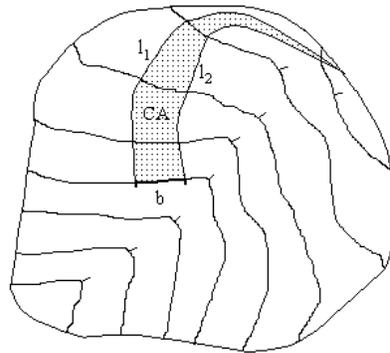


Figura.2.4. Definición del área específica de captación para la estimación del índice topográfico

Otra forma de ilustrar la definición del índice topográfico se muestra en la figura 2.5, en la cual se presenta el balance de un segmento de captación, donde se tiene una pendiente local de salida de flujo de agua β , en la que a una tasa de precipitación que se mueve sobre el área A de espesor D . Una porción, R , de dicho espesor, representa la recarga subterránea. El flujo subsuperficial del segmento ocurre en la tasa $Q_{\text{subterráneo}}$ y el flujo superficial ($Q_{\text{superficial}}$) ocurre desde áreas saturadas.

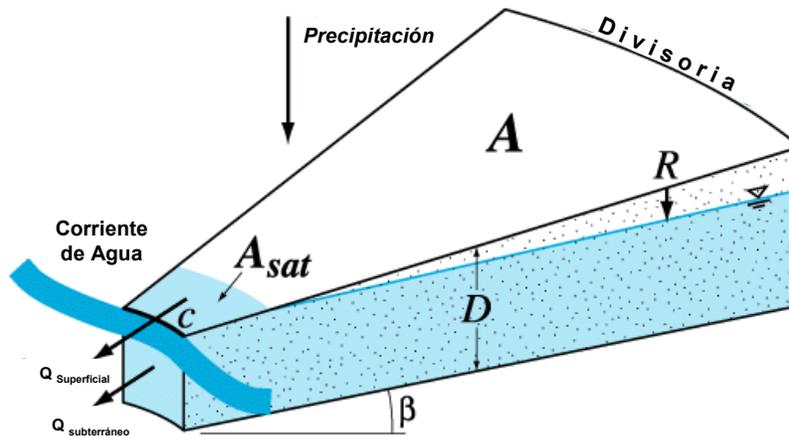


Figura 2.5. Balance de agua para un segmento de captación

El mapa de índice topográfico muestra las áreas donde los procesos de escurrimiento tal como el exceso de agua en el suelo se manifiestan en forma de flujo superficial (Figura 2.6). Es así como el mapa correspondiente, se puede interpretar que los valores altos de TI indican zonas con grandes áreas de captación y con pendientes relativamente planas,

típicamente en la base de una pendiente aguas arriba y junto a los cauces. Estas áreas corresponden con zonas de descarga.

Al presentarse valores bajos de índice topográfico, representa la cima de la pendiente, donde es relativamente poca el área de contribución, así como en terrenos inclinados. Dichas zonas corresponden a zonas de recarga de acuíferos.

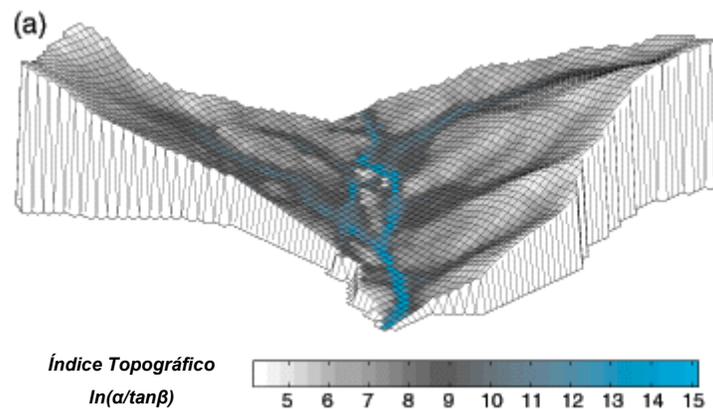


Figura 2.6. Distribución del índice topográfico en un área de captación

La distribución relativa de los valores del índice topográfico en el área de estudio, se presentan en la Figura 2.7, y la distribución espacial del TI se muestra en el Mapa correspondiente.

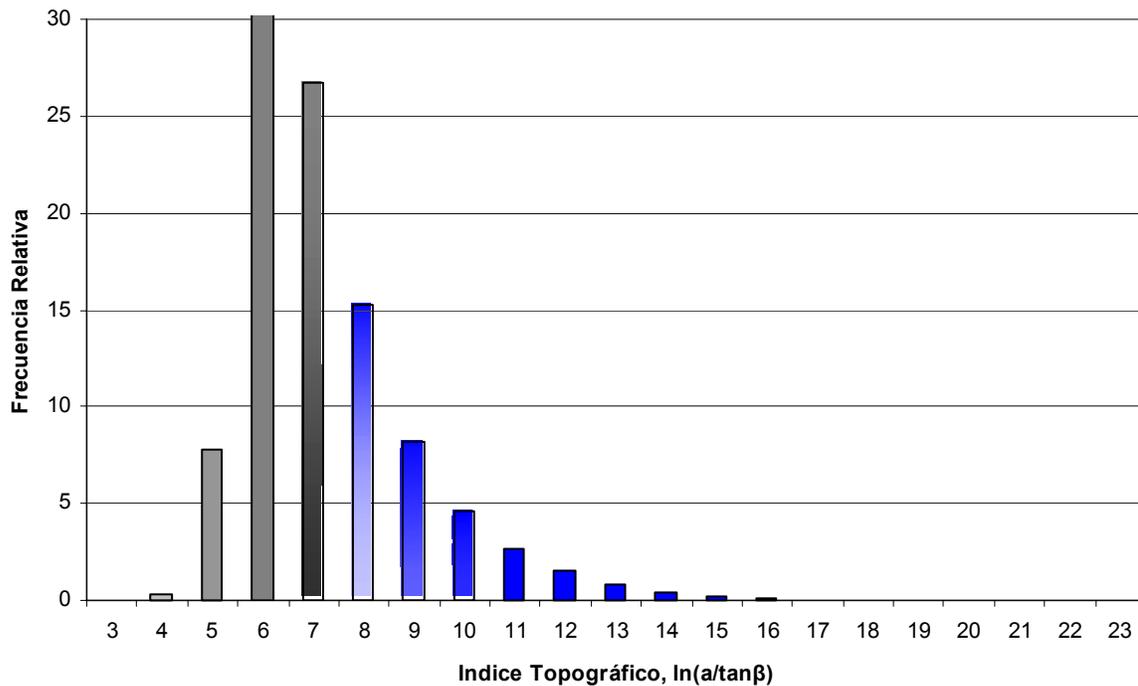


Figura 2.7. Distribución de los intervalos de índice topográfico en la parte alta y media de la Subcuenca del Río Cuxtepeques

Análisis del Índice Topográfico Geomorfológico

Además de lo ya mencionado acerca de la importancia de obtener el TI, considerando su definición, otro de los posibles usos, es el establecimiento de valores críticos o umbrales para la ocurrencia de procesos tales como el escurrimiento superficial, la saturación del suelo, procesos erosivos y deslizamientos en masa de materiales.

Lo anterior debido a que el estudio de las geoformas y el paisaje está íntimamente ligado a la hidrología. El proceso de erosión hídrica está relacionado con el flujo superficial y subterráneo del agua. El escurrimiento superficial durante un evento de lluvia se concentra en los cauces de ríos en donde éste puede provocar erosión en la base y transportar sedimentos en el caso de que la descarga sea lo suficientemente grande. Los deslizamientos sobre laderas ocurren típicamente en áreas localizadas donde los suelos están saturados y la presión del agua en los espacios porosos es alta. Los sedimentos descargados en los canales por deslizamientos y otros procesos de desgaste sobre pendientes aguas arriba son transportados durante eventos de intensidad grande.

Para comprender y ubicar en donde, cuando y cual es la tasa de los procesos erosivos que operan en una cuenca o área de captación depende del conocimiento de los procesos hidrológicos. Los deslizamientos ocurren en regiones donde la pendiente local del terreno excede un ángulo crítico. Dicha inclinación depende tanto de las características del suelo como del contenido de humedad. El flujo superficial ocurre cuando el suelo está saturado, así que la lluvia escurre, si dicho escurrimiento tiene cierta altura y/o la pendiente presenta la suficiente inclinación, el flujo disgrega las partículas del suelo y las acarrea hacia los ríos, dando como resultado el proceso erosivo en el paisaje.

Dietrich *et al.*, (1992) combinaron ecuaciones simples describiendo los umbrales del escurrimiento por saturación del suelo, deslizamientos y erosión en laderas para Modelos Digitales de Elevación (MDE); mediante observaciones de campo predijeron la ubicación de dichos procesos dentro de una cuenca de captación. Asumiendo un valor constante de conductividad hidráulica o transmisibilidad del suelo (T), la descarga por longitud de una línea de contorno (c) es $Q_{\text{subterráneo}} (L^3 T^{-1}) = TcM$; donde M es la pendiente de la superficie. La pendiente del nivel donde se presenta el suelo saturado (ó nivel freático), se asume que es la pendiente del terreno. La cantidad total de de agua que llega a dicha longitud de contorno sobre un periodo específico de tiempo es AQ_{total} ; donde $Q_{\text{total}} = R$ (la tasa de recarga, $(L^3 T^{-1})$) y A es el área de contribución de la ladera. En otras palabras Q_{total} es el volumen de agua por unidad de área superficial (o profundidad) que está en movimiento a lo largo de la ladera por unidad de tiempo. La diferencia entre el escurrimiento total que pasa en el intervalo de la línea de contorno (Q_{total}) y la descarga subsuperficial ($Q_{\text{subterráneo}}$) es el flujo superficial por exceso de saturación. En estos términos, el flujo superficial ocurre cuando:

$$Aq_{\text{total}} > TcM$$

ó

$$\frac{A}{c} > \frac{T}{q_{\text{total}}} M$$

El termino A/c es conocido como *índice topográfico geomorfológico* que puede ser definido para cada punto que presenta captación si su topografía es conocida. Aunque es viable derivar el valor de A/c a partir del índice topográfico, es necesario contar con un MDE con alta resolución, además de ser confiable en cuanto a la representación que se realiza de la superficie y la red hidrográfica.

Lo anterior es de considerarse ya que para definir c y A , los contornos de elevación deben tener la misma equidistancia además de ser el reflejo de la topografía real del terreno. Debido a que en las relaciones para definición de valores umbrales es muy importante el cociente A/c , es trascendental reflejar el comportamiento del flujo superficial con un MDE; la Figura 2.8 muestra los tipos de pendiente que se pueden encontrar y el comportamiento de los escurrimientos.

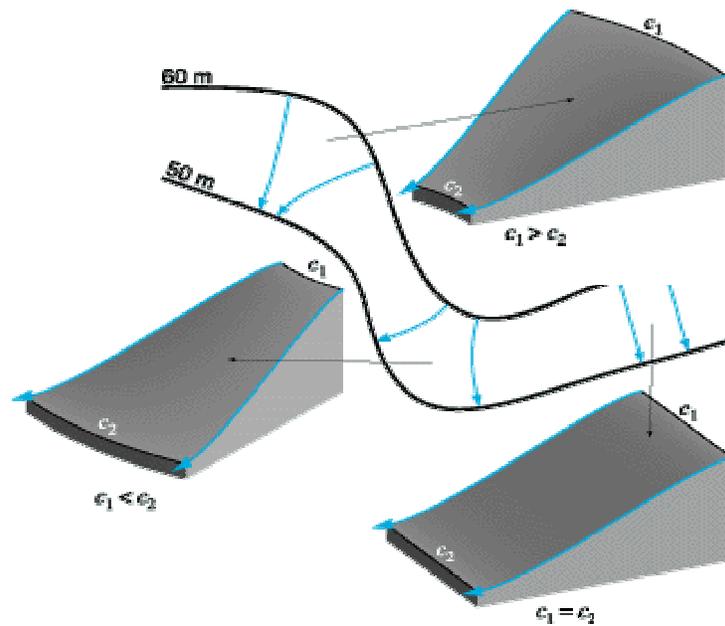


Figura 2.8. Pendientes aguas arriba, definición de acuerdo a los contornos o curvas a nivel y comportamiento del flujo de agua

La erosión por escurrimiento superficial solo ocurre en las zonas de captación donde el escurrimiento presenta la suficiente fuerza para desprender partículas (valores altos de A/c) o donde la inclinación de la pendiente es pronunciada (valores altos de M). Dietrich *et al.*, (1992) propone la siguiente expresión para establecer el umbral de erosión:

$$\frac{A}{c} > \frac{T}{q_{total}} M + \frac{\alpha}{q_{total} M^2}$$

Donde α (L^2T^{-1}) representa la resistencia del suelo a ser erosionado

La pérdida de cohesión de materia sobre una superficie inclinada la hace inestable, esto es el principio de deslizamientos superficiales, cuando la pendiente de la superficie excede el valor crítico dependiente de las propiedades del suelo, agua y grado de saturación es descrita por:

$$\tan \beta > \left(\frac{\rho_s - \sigma \rho}{\rho_s} \right) \tan \Phi_f$$

Donde: ρ es la densidad del agua, ρ_s es la densidad del suelo, σ es el grado de saturación y Φ_f es el ángulo interno de fricción. Cuando el suelo está saturado, esto reduce para $\tan \beta > 0.5 \tan \Phi_f$ para valores comunes de densidad de suelo y agua. Cuando el suelo no está saturado:

$\sigma = AQ_{total}/(TcM)$, como se mencionó anteriormente.

Las expresiones anteriores para umbrales de flujo superficial por saturación, erosión y deslizamientos, dependen del *índice topográfico geomorfológico*, A/c y de la pendiente del terreno M . Al relacionar las curvas definiendo cada umbral en términos de esos parámetros muestra la relación de estos valores críticos y los parámetros topográficos.

Se realizó un ejercicio considerando valores promedios de acuerdo a condiciones de la zona de estudio, al eliminar la cobertura vegetal, de tal forma que la Figura 2.9, muestra valores umbrales o críticos obtenidos de tablas sobre las condiciones del suelo, agua, pendiente y precipitación, esto es, considerando las características siguientes:

$$Q_{total} = 50 \text{ mm día}^{-1}$$

$$T = 10^{-4} \text{ m}^2 \text{ s}^{-1}$$

$$\Phi_f = 35^\circ$$

$$\alpha = 8 \times 10^{-6} \text{ m}^2 \text{ s}^{-1}$$

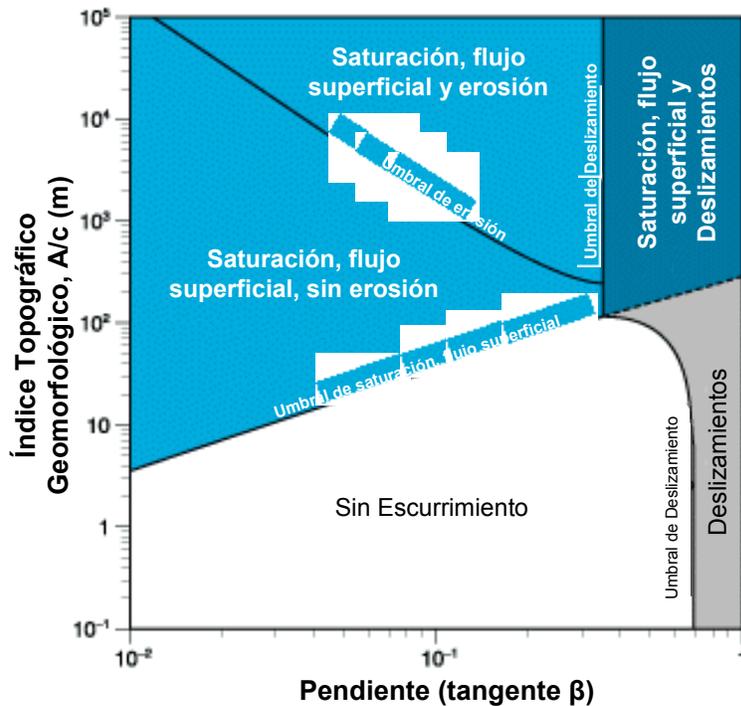


Figura 2.9. Regiones y umbrales de flujo por saturación, erosión y deslizamientos

El diagrama de la Figura 2.9 y el mapa correspondiente al análisis del índice topográfico geomorfológico, pueden ser usados para determinar áreas de la cuenca susceptibles a la erosión y a deslizamientos de material, los cuales son de utilidad a una variedad de propósitos incluyendo un complemento a guías para la toma de decisiones sobre cambios en el uso de suelo. Es importante señalar que el valor asignado al parámetro α referido a la resistencia del suelo, disminuye rápidamente al eliminar la cobertura vegetal, por lo que el área con posibilidad de remoción del suelo se incrementa de manera considerable.

La Figura 2.10, muestra la distribución sobre el área de estudio de las regiones mostradas en la Figura 2.9.

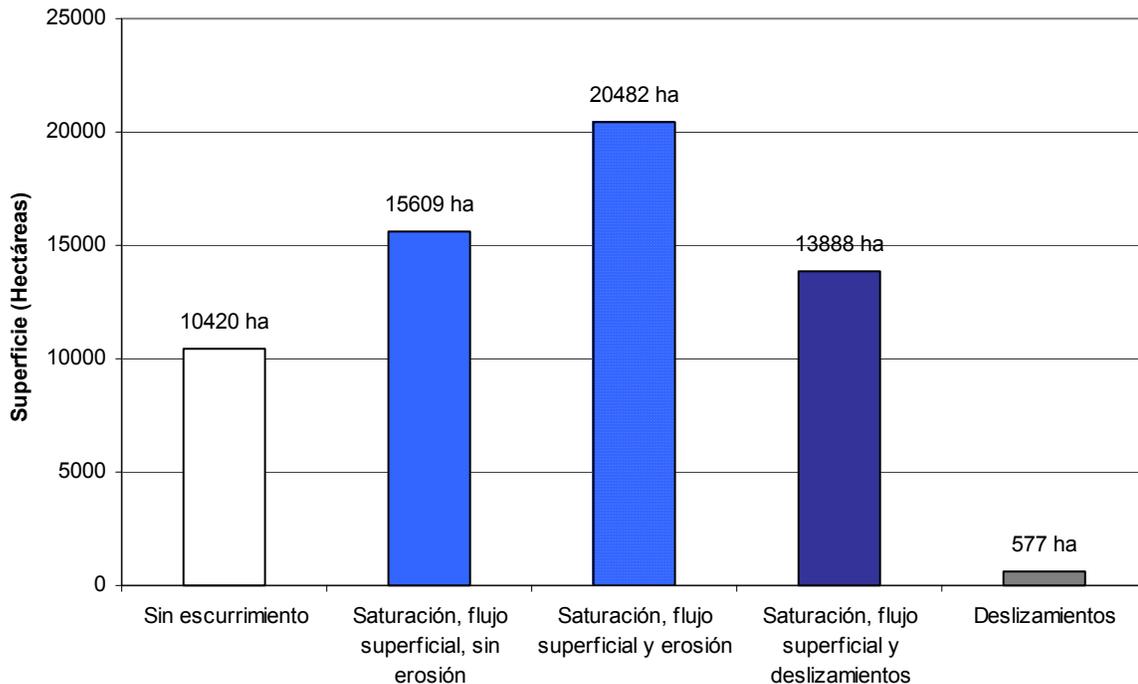


Figura 2.10. Superficies de acuerdo al análisis del Índice Topográfico Geomorfológico y la pendiente del terreno.

Es importante señalar que debido a que se consideraron parámetros estándar para toda la cuenca, los resultados mostrados en la Figura 2.1.2, así como en el mapa correspondiente, pueden representar las áreas que podrían o están siendo afectadas por fenómenos de movimiento de partículas de suelo. Estos análisis son de utilidad al realizar planeaciones o para evaluar el impacto que representa el hacer modificaciones en alguna parte de la cuenca.

2.3.3. Estimación de los escurrimientos medios

Para cuantificar los escurrimientos superficiales se utilizó la Metodología de las Curvas Numéricas propuesto por el Servicio de Conservación de Suelos (SCS) de los Estados Unidos. Para el escurrimiento medio fue necesario utilizar valores diarios de precipitación, obtenidos del Sistema de Información Climatológica (SICLIM). Las estaciones que se utilizaron fueron Cuxtepeques y Angel Albino Corzo (Cuadro 2.3 y 2.4).

El grupo hidrológico esta formado por 4 grupos basado en las características textuales e hidrológicas del suelo. Los suelos presentes en la zona de estudio fueron agrupados de la siguiente manera:

Los suelos Luvisol crómico, Acrisol húmico y plíntico se agruparon en el grupo C, estos se caracterizan por presentar cantidades considerables de arcilla. El grupo A esta formado por los suelos Litosol, Regosol eútrico, Fluvisol eútrico, Cambisol eútrico y férrico; estos presentan menor escurrimiento, resultado de un mayor contenido de arena que influye en la tasa de infiltración.

Cuadro 2.3. Precipitación diaria de la estación 7073 Cuxtepeques, Ángel Albino Corzo, Chiapas.

Día	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic
1	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	36.0	2.5	0.0	6.0	23.0	0.0	1.0
2	0.0	0.0	0.0	0.0	5.5	17.0	60.0	0.0	4.0	29.3	0.0	2.0
3	0.0	0.0	0.0	0.0	1.5	20.5	15.5	5.5	24.0	16.0	0.0	0.0
4	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	1.0	8.0	0.0	30.0	27.6	0.0	0.0
5	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	2.5	30.0	0.0	13.0	5.0	0.0	0.0
6	0.0	0.0	0.0	0.0	0.5	20	23.0	0.0	0.0	6.0	0.0	0.0
7	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	16	49.0	21.0	0.0	10.0	0.0	0.0
8	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.5	18.5	13.0	35.5	9.0	0.0	0.0
9	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	10.0	43.5	25.5	25.0	0.0	0.0
10	0.0	0.0	0.0	0.0	14.5	4.0	17.0	21.5	28.5	28.5	0.0	0.0
11	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	10.0	20.0	4.0	0.0	0.0
12	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	3.5	19.0	18.5	53.5	17.0	0.0	0.0
13	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	31	46.5	24.5	8.0	7.5	0.0	0.0
14	0.0	0.0	0.0	1.0	0.0	35	10.5	36.5	2.5	0.0	0.0	0.0
15	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	1.5	6.0	17.6	2.5	0.0	0.0	0.0
16	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	2.0	8.0	0.0	30.0	0.0	0.0	0.0
17	0.0	0.0	21.0	0.0	0.0	4.0	1.5	4.0	20.0	0.0	0.0	0.0
18	6.0	0.0	0.0	13.0	0.0	3.0	3.5	26.5	15.0	0.5	0.0	0.0
19	0.0	0.0	0.0	20.0	42	26.0	16.0	7.0	4.0	0.0	0.0	0.0
20	0.0	0.0	0.0	0.0	0.5	39.0	7.5	31.0	0.5	0.0	0.0	0.0
21	0.0	0.0	1.0	0.0	0.0	2.0	3.0	9.5	2.0	0.0	0.0	0.0
22	0.0	0.0	0.0	0.0	4.5	43.5	2.0	1.5	20.0	5.5	0.0	0.0
23	0.0	0.0	0.0	0.0	6.5	3.0	2.0	56.5	18.0	26.0	0.0	0.0
24	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	2.0	7.0	17.0	20.5	0.0	0.0	0.0
25	0.0	0.0	0.0	0.0	14.5	34.5	24.0	9.5	11.0	0.0	3.0	0.0
26	0.0	0.0	0.0	0.0	4.0	8.5	11.5	38	9.0	0.0	0.0	0.0
27	0.0	0.0	0.0	0.0	20.0	48.0	0.0	1.5	16.0	35	0.0	0.0
28	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	36.0	0.0	0.0	11.0	12.0	0.0	0.0
29	0.0		0.0	0.0	0.0	3.5	0	0	15.5	3.0	0.0	0.0
30	0.0		0.0	0.0	29.0	0.5	0	2	13.0	0.0	0.0	0.0
31	0.0		0.0		4.5		0	7		0.0		0.0
Total	6.0	0.0	24.0	34.0	147.5	444.0	401.5	422.6	458.5	289.9	3.0	3.0

Cuadro 2.4. Precipitación diaria de la estación 7008 Ángel Albino Corzo, Chiapas.

Día	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic
1	0.0	0.0	36.5	0.0	13.5	10.9	0.0	2.2	23.3	0.4	0.0	0.0
2	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	10.5	5.5	0.0	0.0
3	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	4.9	0.0	11.9	32.1	6.3	0.0
4	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	3.0	12.3	8.6	2.1	0.0
5	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	27.5	1.8	10.8	5.0	1.3	0.0
6	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	5.3	10.1	0.0	0.0
7	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	17.0	0.0	0.0	29.0	17.8	0.0	0.0
8	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	16.1	35.0	0.0	18.1	0.0	0.0	0.0
9	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	15.8	0.0	1.1	19.7	0.0	0.0	0.0
10	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	1.3	0.0	0.0	0.0
11	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	7.5	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
12	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	30.0	0.0	3.0	0.0	0.0	0.0	2.4
13	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	33.2	0.0	0.0	0.0	36.7	0.0	0.0
14	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	6.0	0.0	0.0	0.8	20.0	0.0	0.0
15	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	8.0	0.0	6.9	28.5	0.0	0.0
16	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	1.6	9.9	13.8	5.0	7.5	0.0	0.0
17	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	19.8	51.9	27.7	23.3	0.0	0.0	3.5
18	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	3.5	15.4	25.3	0.0	0.0	0.0
19	0.0	10.1	0.0	0.0	8.8	10.6	27.0	45.5	18.8	6.8	0.0	0.0
20	0.0	0.0	0.0	0.0	38.0	24.3	0.3	22.0	0.6	24.0	0.0	0.0
21	0.0	21.0	0.0	4.2	6.5	1.8	0.0	0.0	29.5	0.0	0.0	0.0
22	0.0	0.0	0.0	0.0	0.1	44.9	0.0	0.0	39.4	0.0	0.0	0.0
23	0.0	0.0	0.0	0.0	23.1	16.8	0.0	0.0	11.1	0.0	0.0	0.0
24	0.0	0.0	0.0	0.0	28.2	13.8	0.0	0.0	30.0	0.0	0.0	0.0
25	0.0	0.0	0.0	0.0	37.7	29.2	42.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
26	0.0	0.0	0.0	0.2	2.0	52.2	17.5	0.0	3.0	0.0	0.0	0.0
27	0.0	0.0	0.0	3.9	0.3	70.8	0.0	0.0	10.8	0.0	0.0	0.0
28	0.0	0.0	20.0	2.5	0.8	43.0	0.0	0.0	18.2	0.0	0.0	0.0
29	0.0		0.0	0.0	42.1	20.8	17.0	20.0	10.1	0.0	0.0	0.0
30	0.0		0.0	0.0	6.5	0.0	17.6	3.0	3.0	0.0	0.0	0.0
31	0.0		0.0		6.5		17.0	6.9		0.0		0.0
	0.0	31.1	56.5	10.8	214.1	486.1	279.1	165.4	378.0	203.0	9.7	5.9

La sobreposición de los dos grupos de suelos con las unidades de vegetación para cada microcuenca dio como resultado las unidades de escurrimiento las cuales fueron la base para definir el número de Curva Numérica correspondiente a cada región.

Para utilizar la curva numérica fue necesario ubicar para cada área la condición hidrológica, esta se realizó utilizando el mapa de uso de suelo. La cobertura vegetal será factor importante para determinar el grado de condición hidrológica (mala, regular o buena). Una

mayor cobertura disminuirá la velocidad de escurrimiento, aumentando el proceso de infiltración.

Una vez delimitadas las unidades de escurrimiento se valores de Curvas Numéricas para cada zona, en el Cuadro 2.5 se presenta la descripción de las 7 unidades de escurrimiento.

Cuadro 2.5. Descripción de las unidades de escurrimiento en la zona de estudio.

Unidades	Áreas	Descripción	Grupo Hidrológico	Superficie (has)
1.-El Zapote	1	Bosque de Pino encino	A	27.0
	2	Bosque de Pino encino	C	958.5
	3	Pastizal inducido	A	191.5
	4	Pastizal inducido	C	1772.6
	5	Bosque de Pino	A	512.3
	6	Bosque de Pino	C	118.0
	7	Agricultura de Temporal	C	4877.6
	8	Agricultura de Temporal	A	294.0
		Cuerpos de agua		322.6
	TOTAL			9074.2
2.-Cuxtepeques Media	1	Bosque de Pino	C	377.6
	2	Pastizal Inducido	A	110.8
	3	Pastizal Inducido	C	580.3
	4	Bosque Mesofilo de Montaña	C	2288.2
	5	Bosque de Pino c/ vegetación secundaria	A	379.4
	6	Bosque de Pino c/ vegetación secundaria	C	4.1
	7	Bosque de pino-encino c/vegetación secundaria	C	1296.1
	8	Bosque de Pino-encino	C	121.9
	9	Bosque de Pino	C	1469.3
	10	Bosque de Pino	A	3930.7
	11	Bosque de encino-pino	C	16.4
	12	Bosque de encino-pino	A	885.4
	13	Agricultura de temporal	A	25.7
	14	Agricultura de temporal	C	490.5
	TOTAL			13519.2

Unidades	Áreas	Descripción	Grupo Hidrológico	Superficie (has)
3.- El Naranjo-	1	Selva alta y mediana	A	510.4
	2	Pastizal inducido	C	547.3
	3	Pastizal inducido	A	22.4
	4	Bosque mesofilo de montaña	A	941.5
	5	Bosque mesofilo de montaña	C	114.7
	6	Bosque de encino-pino	C	813.1
	7	Bosque de encino-pino	A	0.05
	8	Bosque de pino	A	135.9
	9	Bosque de pino	C	1290.6
	10	Agricultura de temporal	A	3837.8
	11	Agricultura de temporal	C	658.0
	TOTAL			8871.9

4.-Cuxtepeques Alta-	1	Agricultura de temporal	A	1278.0
	2	Agricultura de temporal	C	364.5
	3	Café	A	3212.4
	4	Café	C	114.6
	5	Bosque de encino	C	27.9
	6	Bosque de encino-pino	C	236.7
	7	Bosque de encino-pino	A	42.7
	8	Bosque mesofilo de montaña	A	4576.7
	9	Bosque mesofilo de montaña	C	1027.0
	TOTAL		10880.4	
5.- El Plan	1	Bosque de pino	A	1310.0
	2	Bosque de pino	C	0.3
	3	Selva alta y media perennifolia	A	90.0
	4	Bosque de pino-encino	A	13.7
	5	Bosque de pino-encino	C	741.5
	6	Bosque mesofilo de montaña	C	1012.2
	7	Bosque mesofilo de montaña	A	4732.2
	8	Pastizal inducido	A	151.4
	9	Pastizal inducido	C	195.8
	10	Café	A	38.1
	11	Agricultura de temporal	A	57.5
	12	Agricultura de temporal	C	1743.2
	TOTAL		10085.9	
6.- El Negroto	1	Agricultura de temporal	A	99.6
	2	Agricultura de temporal	C	115.2
	3	Bosque de encino-pino	A	76.3
	4	Bosque de pino	C	3625.4
	5	Bosque de pino	A	634.7
	6	Bosque de pino-encino	C	219.4
	7	Bosque de pino-encino	A	98.0
	8	Bosque mesofilo de montaña	A	2788.5
	9	Bosque mesofilo de montaña	C	887.3
	TOTAL		8544.4	

La condición de humedad antecedente es un factor importante ya que el escurrimiento aumenta a medida que la condición de humedad del suelo es mayor, resultado de un evento de lluvia anterior.

Para determinar la condición de humedad antecedente fue necesario considerar los datos de precipitación de los 5 días previos al evento, el criterio que se utilizó fue el siguiente:

Si la precipitación acumulada en los 5 días previos al evento es menor de 12.7 mm, entonces la condición de humedad es seca (I); si este valor se encuentra entre los valores de 12.7-38.1 mm la condición es media (II) y si el valor es mayor de 38.1 mm la condición es Húmeda.

De manera general en el Cuadro 2.6 se presentan los resultados de los escurrimientos, el valor del escurrimiento medio en la subcuenca es de 394 mm (240´672,666.7 m³ de agua).

A nivel de microcuenca se observa que la microcuenca 1 presenta los mayores escurrimientos medios con un valor de 538.2 mm, la cual está asociada con la zona de mayor degradación. Cabe mencionar que a excepción de las microcuencas 1 y 2, las demás presentan buenas condiciones hidrológicas resultado de una mayor cobertura vegetal la cual disminuye la degradación del suelo y con ello un menor acarreo de sedimentos.

Cuadro 2.6. Escurrimientos medios de las microcuencas de la zona de estudio.

Microcuenca	Superficie (has)	Q ponderado (mm)	QA	Volumen (m3)	Q medio (mm)
El Zapote	9074.2	538.2	4884008.8	48,840,087.6	
Cuxtepeques Media	13519.2	339.4	4587787.8	45,877,878.4	
El Naranjo	8872.0	437.2	3879255.1	38,792,551.0	
Cuxtepeques Alta	10880.4	282.1	3069272.6	30,692,726.1	394.7
El Plan	10085.9	527.1	5316659.8	53,166,597.9	
El Negrito	8544.4	272.6	2329106.9	23,291,069.1	
TOTAL	60,976.1		2,406,6091.0		

En la Figura 2.4 se presentan los volúmenes anuales, siendo las microcuencas El Plan y El Zapote las de mayor escurrimiento en la subcuenca, esto se debe a sus características hidrológicas descritas anteriormente.

En el Mapa de Red Hidrológica con Puntos de Aforo (Mapa de Anexo Cartográfico) se muestra un inventario de los cuerpos de agua y las estaciones donde se realizaron las mediciones para el balance hidrológico.

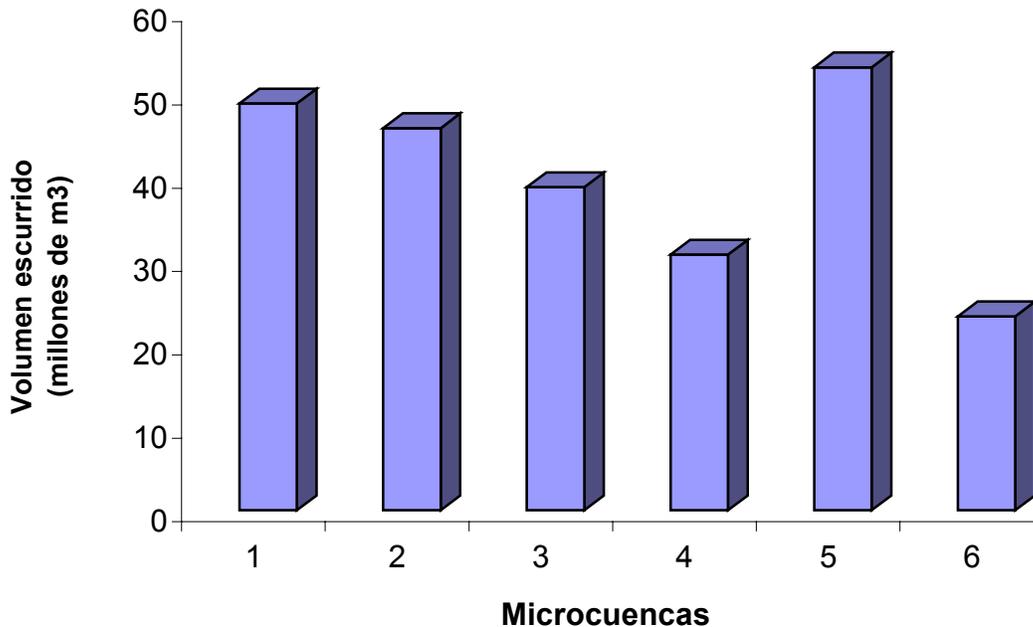


Figura 2.4. Volúmenes escurridos en la parte Alta y Media de la Subcuenca del Río Cuxtepeques.

2.4. Conclusiones

La parte Alta y Media de la Subcuenca del Río Cuxtepeques tiene una superficie de 60,976 ha, lo que representa el 23.65 % de la superficie total del municipio La Concordia.

El cauce principal tiene una longitud de 45.69 km formando una subcuenca ovalada.

El río principal se califica como senil, cuyos escurrimientos son permanentes.

El Río Cuxtepeques descarga sus escurrimientos superficiales en el embalse Juan Sabines Gutiérrez, que a su vez desfoga hacia la presa Belisario Domínguez.

La altitud de la subcuenca se extiende desde los 577 msnm hasta los 1719.7 msnm; con una altitud promedio de 1130 m.

La pendiente media de la subcuenca es de 42.48%.

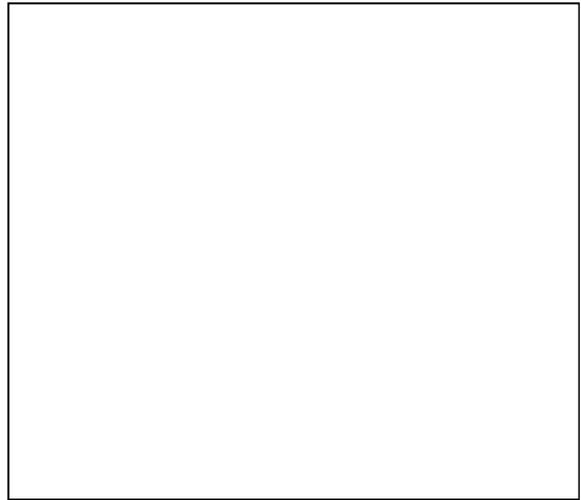
La subcuenca del río Cuxtepeques es de sexto orden, con un patrón de drenaje del tipo dendrítico, en la cual, se divide en seis microcuenca: Cuxtepeques Alta, Cuxtepeques Media, El Plan, El Negrito, El Naranja y El Zapote.

Según los índices obtenidos, el tiempo de concentración de las avenidas es corto, es de esperarse una gran cantidad de escurrimientos con alta energía y capacidad de transporte de sedimentos, tiempo después de un evento de lluvia.

ANEXO B

CARÁCTERÍSTICAS DE LOS SITIOS DE AFORO

Sitio No. 1



LOCALIZACIÓN			
Latitud Norte	15°55'31.66"	Estado	Chiapas
Longitud Oeste	93°01'0.0"	Municipio	Concordia
Altitud	680	msnm	

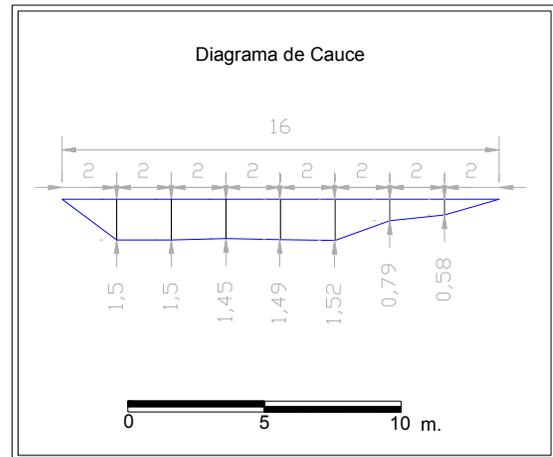
CARACTERÍSTICAS DEL CAUCE		
Pendiente promedio (%)	Longitud del cauce principal (km)	Ancho promedio (m)
3	18.20	11

Profundidad promedio (m)	Valor de "n" de manning	Factor C
0.888	0.040	0.035

Gasto			
Distancia (m)	Tiempo (seg)	Velocidad (m.seg ⁻¹)	Área (m ²)
3.0	9.09	0.33	2.35

Gasto	
Gasto (m ³ .seg ⁻¹)	Gasto Máximo (m ³ .seg ⁻¹)
0.78	25.9

Sitio No. 2



LOCALIZACIÓN			
Latitud Norte	15°47'10.0"	Estado	Chiapas
Longitud Oeste	93°02'53.33"	Municipio	Concordia
Altitud	1060 msnm		

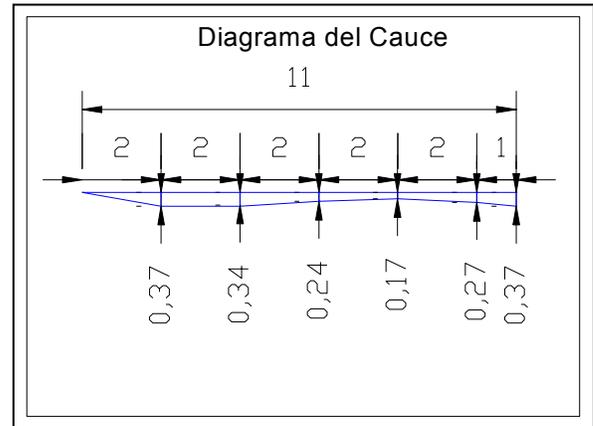
CARACTERÍSTICAS DEL CAUCE		
Pendiente promedio (%)	Longitud del cauce principal (km)	Ancho promedio (m)
3	23.7	16

Profundidad promedio (m)	Valor de "n" de manning	Factor C
1.25	0.040	0.17

Gasto			
Distancia (m)	Tiempo (seg)	Velocidad (m.seg ⁻¹)	Área (m ²)
9	26.2	0.34	17.66

Gasto	
Gasto (m ³ .seg ⁻¹)	Gasto Máximo (m ³ .seg ⁻¹)
6.07	63.4

Sitio No. 3



LOCALIZACIÓN			
Latitud Norte	15°47'43.1"	Estado	Chiapas
Longitud Oeste	92°56'7.7"	Municipio	Concordia
Altitud	630 msnm		

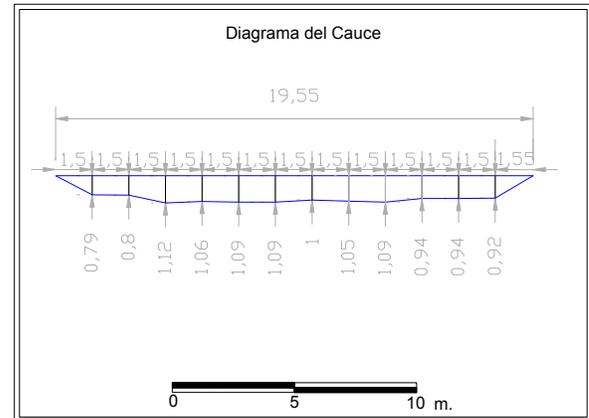
CARACTERÍSTICAS DEL CAUCE		
Pendiente promedio (%)	Longitud del cauce principal (km)	Ancho promedio (m)
5	5.2	11

Profundidad promedio (m)	Valor de "n" de manning	Factor C
0.46	0.050	0.040

Gasto			
Distancia (m)	Tiempo (seg)	Velocidad (m.seg ⁻¹)	Área (m ²)
10	32.0	0.31	0.86

Gasto	
Gasto (m ³ .seg ⁻¹)	Gasto Máximo (m ³ .seg ⁻¹)
0.27	0.91

Sitio No. 4



LOCALIZACIÓN			
Latitud Norte	15°45'01.3"	Estado	Chiapas
Longitud Oeste	92°57'57.6"	Municipio	Concordia
Altitud	904 msnm		

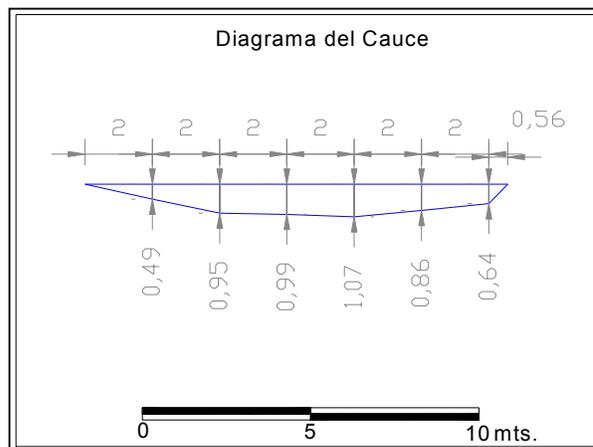
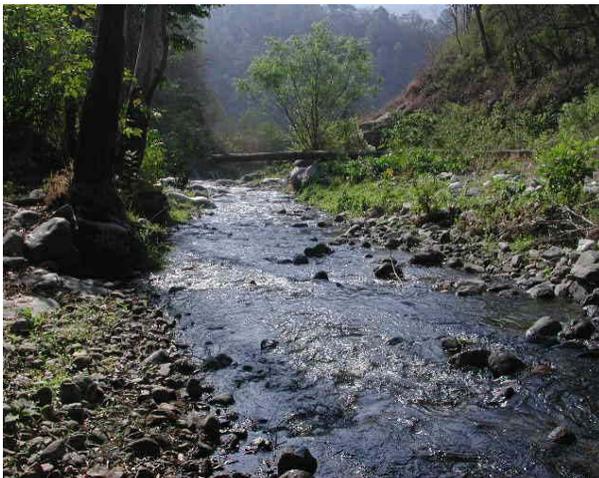
CARACTERÍSTICAS DEL CAUCE		
Pendiente promedio (%)	Longitud del cauce principal (km)	Ancho promedio (m)
4	45.6	19.55

Profundidad promedio (m)	Valor de "n" de manning	Factor C
0.98	0.030	0.19

Gasto			
Distancia (m)	Tiempo (seg)	Velocidad (m.seg ⁻¹)	Área (m ²)
6	19.6	0.31	3.57

Gasto	
Gasto (m ³ .seg ⁻¹)	Gasto Máximo (m ³ .seg ⁻¹)
1.11	100.2

Sitio No. 5



LOCALIZACIÓN			
Latitud Norte	15°46'08.2"	Estado	Chiapas
Longitud Oeste	92°52'42.7"	Municipio	Concordia
Altitud	877 msnm		

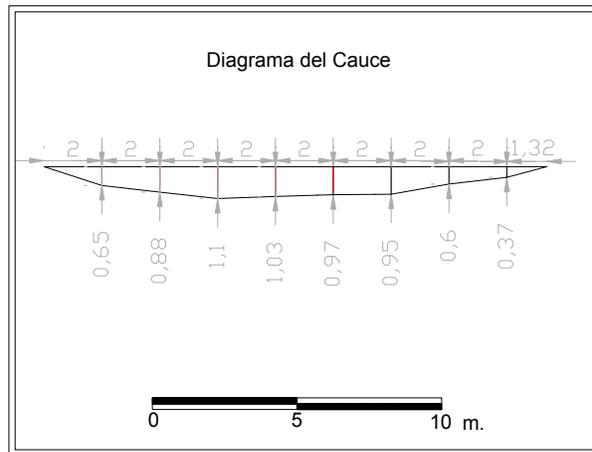
CARACTERÍSTICAS DEL CAUCE		
Pendiente promedio (%)	Longitud del cauce principal (km)	Ancho promedio (m)
5	9.1	12.56

Profundidad promedio (m)	Valor de "n" de manning	Factor C
0.83	0.030	0.16

Gasto			
Distancia (m)	Tiempo (seg)	Velocidad (m.seg ⁻¹)	Área (m ²)
6	12	0.5	0.34

Gasto	
Gasto (m ³ .seg ⁻¹)	Gasto Máximo (m ³ .seg ⁻¹)
0.17	52.60

Sitio No. 6



LOCALIZACIÓN			
Latitud Norte	15°47'20.6"	Estado	Chiapas
Longitud Oeste	92°56'22.6"	Municipio	Concordia
Altitud	790 msnm		

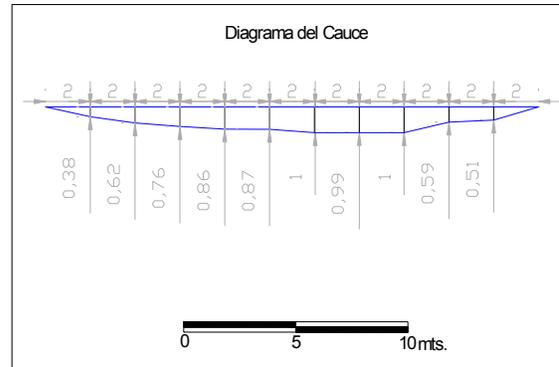
CARACTERÍSTICAS DEL CAUCE		
Pendiente promedio (%)	Longitud del cauce principal (km)	Ancho promedio (m)
3	45.7	17.32

Profundidad promedio (m)	Valor de "n" de manning	Factor C
0.82	0.025	0.4

Gasto			
Distancia (m)	Tiempo (seg)	Velocidad (m.seg ⁻¹)	Área (m ²)
6	19.6	0.31	2.67

Gasto	
Gasto (m ³ .seg ⁻¹)	Gasto Máximo (m ³ .seg ⁻¹)
0.83	61.20

Sitio No. 7



LOCALIZACIÓN			
Latitud Norte	15°51'31.1"	Estado	Chiapas
Longitud Oeste	92°52'22.6"	Municipio	Concordia
Altitud	693 msnm		

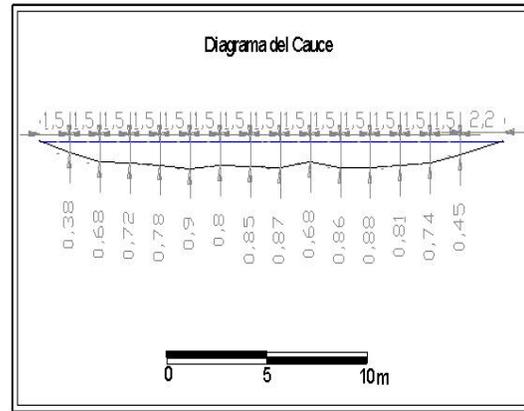
CARACTERÍSTICAS DEL CAUCE		
Pendiente promedio (%)	Longitud del cauce principal (km)	Ancho promedio (m)
3	22.3	22

Profundidad promedio (m)	Valor de "n" de manning	Factor C
0.76	0.025	0.4

Gasto			
Distancia (m)	Tiempo (seg)	Velocidad (m.sec ⁻¹)	Área (m ²)
6	7.5	0.80	1.79

Gasto	
Gasto (m ³ .seg ⁻¹)	Gasto Máximo (m ³ .seg ⁻¹)
1.43	68.10

Sitio No. 8



LOCALIZACIÓN			
Latitud Norte	15°52'52.3"	Estado	Chiapas
Longitud Oeste	92°36'18.4"	Municipio	Concordia
Altitud	657 msnm		

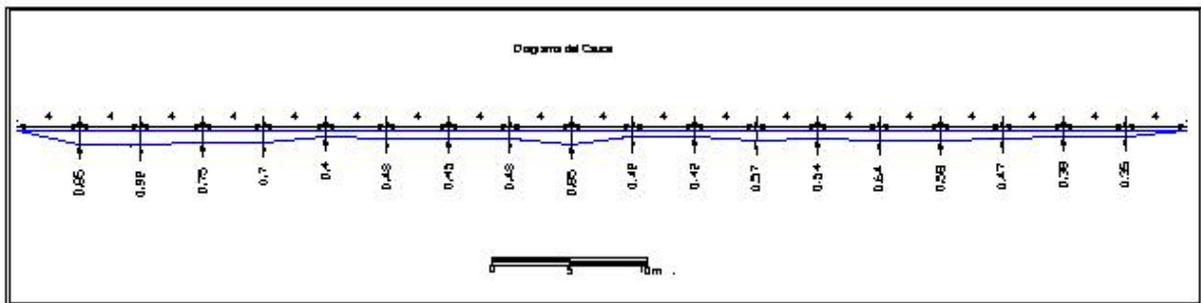
CARACTERÍSTICAS DEL CAUCE		
Pendiente promedio (%)	Longitud del cauce principal (km)	Ancho promedio (m)
5	45.7	23.2

Profundidad promedio (m)	Valor de "n" de manning	Factor C
0.73	0.025	0.18

Gasto			
Distancia (m)	Tiempo (seg)	Velocidad (m.seg ⁻¹)	Área (m ²)
6	13	0.46	6.08

Gasto	
Gasto (m ³ .seg ⁻¹)	Gasto Máximo (m ³ .seg ⁻¹)
2.81	90.30

Sitio No. 9



LOCALIZACIÓN			
Latitud Norte	15°54'30.8"	Estado	Chiapas
Longitud Oeste	92°55'51"	Municipio	Concordia
Altitud	661 msnm		

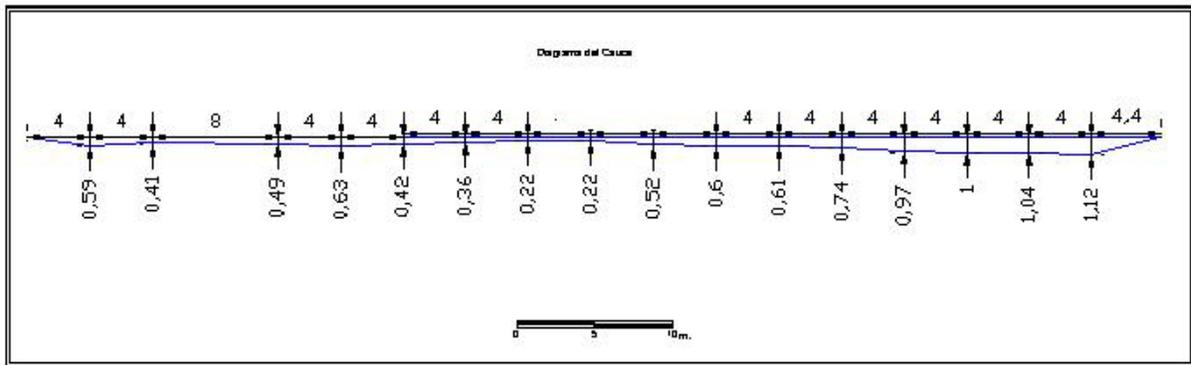
CARACTERÍSTICAS DEL CAUCE		
Pendiente promedio (%)	Longitud del cauce principal (km)	Ancho promedio (m)
2	45.7	76

Profundidad promedio (m)	Valor de "n" de manning	Factor C
0.55	0.025	0.4

Gasto			
Distancia (m)	Tiempo (seg)	Velocidad (m.seg ⁻¹)	Área (m ²)
6	21.16	0.28	14.8

Gasto	
Gasto (m ³ .seg ⁻¹)	Gasto Máximo (m ³ .seg ⁻¹)
4.20	127.9

Sitio No. 10



LOCALIZACIÓN			
Latitud Norte	15°56'59.2"	Estado	Chiapas
Longitud Oeste	92°55'12"	Municipio	Concordia
Altitud	630 msnm		

CARACTERÍSTICAS DEL CAUCE		
Pendiente promedio (%)	Longitud del cauce principal (km)	Ancho promedio (m)
4	45.7	72.4

Profundidad promedio (m)	Valor de "n" de manning	Factor C
0.61	0.025	0.4

Gasto			
Distancia (m)	Tiempo (seg)	Velocidad (m.seg ⁻¹)	Área (m ²)
6	8.8	0.68	5.04

Gasto	
Gasto (m ³ .seg ⁻¹)	Gasto Máximo (m ³ .seg ⁻¹)
3.44	192.7