

## 8.Hidrografía Superficial

Las redes de drenaje son la manifestación de la escorrentía superficial concentrada y jerarquizada en cauces. Arroyada concentrada y jerarquización implican un proceso dinámico ya que requieren del movimiento de las aguas y su concentración progresiva hacia colectores cuyas dimensiones son proporcionales al volumen de escorrentía generado. Este proceso dinámico depende de la forma como interactúan numerosos factores: la alimentación hídrica, que incide con intensidades altamente variables, la respuesta del suelo ante estas precipitaciones, condicionadas por sus características intrínsecas y fisiográficas, la vegetación, las características de sustrato, litología y tectónica, los factores antrópicos, etc.

La influencia de todos estos factores configuran el diseño de la red fluvial a lo largo del tiempo, que evoluciona en forma y número de cauces; una red fluvial cuyos elementos constituyentes pueden cuantificarse y clasificarse.

Dada la importancia que ha tomado la hidrografía superficial en este estudio, se ha llevado a cabo un análisis en detalle de las microcuencas. A continuación se exponen los métodos de análisis más usuales para el estudio del diseño de las redes fluviales divididos en caracteres cualitativos y cuantitativos, morfología y morfometría de la red drenaje, para las microcuencas de estudio en detalle.

En el capítulo de Análisis preliminar de la peligrosidad por avenidas e inundaciones se realiza un análisis hidrometeorológico para el que se recurre a parámetros analizados en este apartado, con el fin de encontrar la relación entre los fenómenos atmosféricos y los caudales de los cursos de agua que dan lugar a avenidas e inundaciones.

La evolución de la red hídrica en el volcán de Usulután ha dado lugar a un sistema de drenaje radial. Esta red hídrica se ha encajado preferencialmente dando como resultado cinco microcuencas principales, tres de ellas objeto de análisis a detalle del presente estudio.

En el mapa de delimitación de microcuencas (mapa n°5, "microcuencas".anexo2) queda dividida la red de drenaje en seis microcuencas principales. Su delimitación ha quedado condicionada por los puntos escogidos como límite inferior, quedando estos fuera de la delimitación del área de estudio.

## 8.1. Morfografía de las Redes de Drenaje

Para el análisis morfométrico, la escala apropiada de trabajo para la representación de los elementos fluviales de una cuenca es 1:10.000 y se requiere de fotografía aérea para determinar la jerarquía de los cauces y trazar la red de drenaje. A falta de mapas topográficos de dicha escala, se ha trabajado con la escala 1:25.000 en SIG (Sistemas de Información Geográfica), complementado con fotografía aérea de escalas 1:15.000 (1970) y 1:30.000 (1992)

### 8.1.1. Morfología Caracteres cualitativos de la red de drenaje

---

Los caracteres cualitativos de la red de drenaje vienen a definir la morfología de la cuenca o de algunos aspectos de esta. A continuación se van a definir para las quebradas en estudio las siguientes características: Tipología de las redes de drenaje, características del lecho principal, tipo de cauce y márgenes y el perfil longitudinal del río.

#### Tipología de las redes de drenaje

Según la clasificación de HOWARD (1967), se originan diversos tipos de redes ante sistemas morfodinámicos diferentes, bien con origen en causas climáticas, bien en causas litológicas y estructurales.

Para el área de estudio entendida como el volcán de Usulután, la tipología de red de drenaje es de tipo red radial, de origen topográfico, pudiéndose definir como la cabecera de la red, desde donde nacen las quebradas que se encajan en el edificio volcánico. (mapa.nº6, "áreas de captación".anexo2)

Si caracterizamos la topología de red para cada quebrada, la tendencia general da aspecto de red paralela en la quebrada *El Cargadero* y *California*. Tipología común en áreas de fuertes pendientes, siguiendo todos los cauces que parten desde las áreas más elevadas un trazado subparalelo entre sí. También se encuentra en áreas cuya litología presenta estratificación intercalada de diversa resistencia pudiendo existir en las uniones anguladas cierta dependencia estructural. La tendencia de la quebrada *La Quebradona* se asemeja más a una red dendrítica, típica red desarrollada sobre litología preferentemente de resistencia uniforme, como es el caso de la cabecera de esta quebrada. Tales rasgos coinciden en gran parte con los rasgos individualizados de cada quebrada teniendo en cuenta que se encuentran dentro tipología de red radial, característica de edificios volcánicos.

## Características del cauce principal, tipo de lecho y márgenes

Determinado el cauce principal de una red de drenaje, como aquel cuya cabecera alcanza la cota más elevada, su sinuosidad puede revelarnos caracteres tanto históricos como presentes de la fuerza de la acción lineal a lo largo de su recorrido.

El cálculo de la **sinuosidad** propuesto por SCHUMM (1963) se obtiene relacionando la longitud del cauce con la longitud máxima del valle que forma.

Usualmente, en áreas de montaña, la longitud media del valle y la longitud del cauce principal coinciden, lo que nos lleva a obtener un índice de sinuosidad hidráulica igual o escasamente superior a 1, dado que las mayores pendientes dan lugar a bajas sinuosidades. Existen tres índices de sinuosidad. Hemos medido el índice de sinuosidad topográfico donde resulta:

Quebradas	<i>El Cargadero</i>	<i>La Quebradona</i>	<i>California</i>
Índice de sinuosidad topográfica	1.019	1.014	1.023

Tabla 1- Índices de sinuosidad según SCHUMM

El índice obtenido de la sinuosidad es útil sólo para su clasificación, centrada en su cauce principal, de la que obtenemos que se trata de canales rectilíneos. Los canales rectilíneos, MORISAWA (1985), los asocia con redes paralelas, tipología de red obtenida para las quebradas *El Cargadero* y *California*, y con la carga sólida habitual que los caudales acarrear, caracterizando los canales rectilíneos por llevar carga de fondo o de todo tipo, con baja actividad de ensanchamiento del cauce y alta actividad de incisión, tal y como se ha observa en las partes alta y media de las tres quebradas.

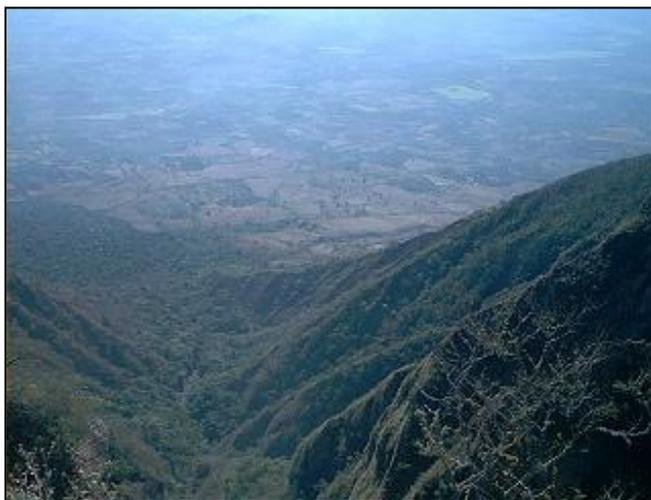
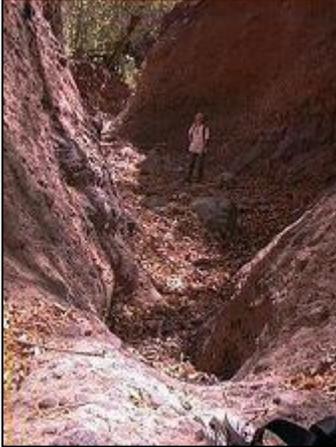


Foto 7- Quebrada la Quebradona- Canal rectilíneo.

La presencia de la roca madre en la sección del cauce, es un indicador de la acción del río (COOKE y DOORNKAMP, 1990), puesto que arranca y transporta material, en lugar de depositarlo. En el estudio de las quebradas, se ha observado como aflora la roca madre en puntos de fuerte encajamiento, principalmente en las cabeceras y en algunos de los márgenes, partes convexas de las zonas de curva del cauce. La acción erosiva del flujo

Foto 8-Afloramiento de roca madre en la cabecera de la quebrada La Quebradona



socava los materiales más susceptibles a la erosión produciendo desprendimientos por descalce de los materiales más resistentes, niveles de basaltos.

En algunos de los márgenes cóncavos de las curvas, se observa deposición, aunque la mayor parte de los depósitos quedan temporalmente en el propio cauce, susceptibles de formar parte de la carga sólida.

Observando la variedad del tamaño de partículas que predomina a lo largo del cauce, también podemos determinar la intensidad del proceso erosivo que experimenta la cuenca.

Teniendo en cuenta el tipo de sustrato por el que discurre el lecho, roca no cohesiva o no coherente mayoritariamente, la erosión del flujo actúa fuertemente en los depósitos piroclásticos, niveles más susceptibles a la erosión aportando partículas predominantemente de tamaño lapilli y bombas.

A continuación se describe la variación del tipo de material que se encuentra en cauce a lo largo de su recorrido.

En la parte alta de las quebradas (de 900 a 600m.s.n.m), encontramos depósitos torrenciales (ver capítulo7, litología y estratigrafía del área de estudio), acumulados en puntos donde el caudal pierde su fuerza, por cambios de pendiente, dirección, ancho del valle y en puntos de unión de varias quebradas. Las lluvias intensas que provocan los flujos torrenciales remueven estos depósitos transportándolos aguas abajo. Para las diferentes quebradas, estos depósitos se presentan de diferente manera y proporción. En *El Cargadero* y *California*, los depósitos se encuentran ocupando el propio cauce. Para *El Cargadero*, las dimensiones de estos son mucho mayores. En *La Quebradona*, gran parte de los depósitos generados por las inestabilidades se encuentran en los márgenes de los cauces, cubiertos en gran parte de vegetación y depósitos recientes, por tanto algo más estabilizados y menos susceptibles de ser removidos por el paso del flujo hídrico. En estas partes altas, los cauces principales y tributarios se encuentran frecuentemente obstruidos por bloques de gran tamaño formando represas naturales.



Foto 9- Depósitos en la parte alta de la quebrada El Cargadero (izq). Depósitos a los márgenes, quebrada La Quebradona (derch)

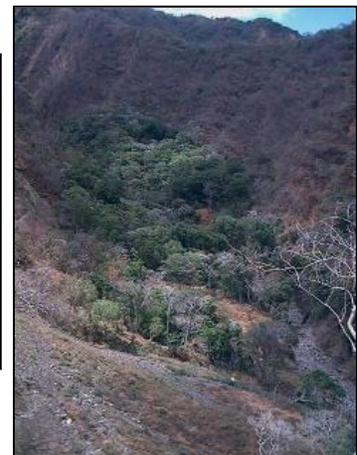




Foto 10- Depósitos en la parte baja de la quebrada La Quebradona

En la parte media y baja (de 600 a 200m.s.n.m), varia el tipo de depósitos, predominando el tamaño centimétrico y fino para las quebradas *El Cargadero* y *California*. Son depósitos de flujos semipermanentes, que forman barras laterales o centrales (ver capítulo 7, litología y estratigrafía del área de estudio). Se observan bloques de tamaño métrico en menor proporción relacionados con las grandes avenidas y las aportaciones de bloques por desprendimientos. En cambio, en *La Quebradona* predominan los depósitos formados por una tamaño de bloque métrico, algo más redondeados y lavados.

La diferente presencia y localización de los depósitos que se encuentran a lo largo de los cauces, nos da pie a diferenciar la evolución que presentan las quebradas. *La Quebradona*, presenta un grado de evolución mayor, observable por el ancho de la cuenca tanto en la cabecera como a media cuenca, y por la presencia de importantes cantidades de tamaño bloque en cauce, lavados, pero difíciles de transportar con flujos normales. *El Cargadero*, presenta un grado de evolución medio comparado con las otras dos quebradas. Se observa una cabecera que tiende a la evolución dando una morfología amplia, en cambio, se estrecha fuertemente en su tramo medio presentando un cauce más encajado con laderas más verticales. *California*, quebrada menos evolucionada, presenta una cabecera menos evolucionada dando una morfología de la cuenca más alargada. Por tanto el aporte de material en cauce es menor.

Además del material erosionado por el flujo hídrico, se observan grandes depósitos a pie de inestabilidades, los cuales se depositan directamente en el cauce o en sus márgenes. Se puede diferenciar dos tamaños principales de partículas: ceniza-lapilli y grandes bloques provenientes principalmente de la alternancia de piroclastos y niveles de basaltos que predominan en el sustrato que conforma las laderas. Estos depósitos, productos de los procesos de inestabilidad, pasan progresivamente a formar parte del material acarreado por el caudal en las quebradas *El Cargadero* y *California*. En *La Quebradona*, su mayor amplitud da lugar a la deposición de grandes volúmenes de materiales en los márgenes menos susceptibles de ser transportados.



Foto 11- Depósitos al pie de talud, quebrada California

Por tanto habría que diferenciar estos depósitos de los propiamente erosionados por el flujo hídrico, aún así, la capacidad de arrastre de tal cantidad de material hacia áreas más bajas, refleja el tipo de régimen torrencial predominante de estas cuencas.

## Perfil longitudinal del río

El perfil longitudinal del río es la línea que dibuja un río desde su nacimiento hasta su desembocadura. Su utilidad principal viene dada por su incidencia directa en la velocidad que puede llevar un caudal a lo largo del cauce, lo que condiciona su energía cinética y, por tanto, su potencial erosivo. Del nivel de base, línea imaginaria que tiene a equilibrar el perfil del cauce con el nivel general o nivel de los océanos, depende toda actividad erosiva.

Mediante la observación de los perfiles longitudinales de los cauces de las tres quebradas (anexo4), se aprecia un primer tramo de fuertes pendientes (mayores de 50%), correspondiente a la zona de las cabeceras.

Se observa un primer cambio brusco de pendiente, donde la pendiente del perfil disminuye alcanzando un valor inferior al 50% en las quebradas *El Cargadero* y *California*. Este cambio de pendiente puede estar asociado al cambio litológico o de competencia de los materiales de la cabecera, ya que en este segundo tramo se observa un perfil escalonado. En cambio, para *La Quebradona*, el cambio de pendiente aumenta fuertemente para luego volver a disminuir, observándose en este tercer tramo la morfología escalonada.

En estos tramos se observa un alto potencial erosivo dado el fuerte encajamiento de los cauces en el terreno. A partir de aquí, en las tres quebradas, la pendiente alcanza valores aproximados de alrededor del 20%. Se observan en estos puntos una gran acumulación de depósitos en gran parte del tramo, donde el flujo, debido al fuerte cambio de pendiente y al ensanchamiento en algunos puntos de estos, pasando a disminuir paulatinamente con tramos homogéneos de pendientes de alrededor del 15% asociados a la parte media de la cuenca y litologías más susceptibles. La pendiente sigue suavizándose progresivamente en tramos homogéneos hasta perderse prácticamente (5% a 0%). Esta pérdida de pendiente ocasiona la disminución del potencial erosivo, y consecuentemente la pérdida del encajamiento de los cauces afectando la capacidad soportable de los éstos (Ver capítulo 10).

A partir de estos puntos, donde el perfil del cauce se encuentra próximo al equilibrio, la dinámica de las quebradas pasa de erosiva a sedimentaria, depositando gran parte de la carga sólida transportada principalmente en las grandes avenidas.

A escala de más detalle se observan en los perfiles escalones bien marcados que dan lugar a saltos de fuertes pendientes. Suelen presentarse a partir del segundo tramo, donde las pendientes pasan de mayores de 50 a menores de 50%, dando lugar a una secuencia de replanos y saltos, de anchos y saltos variables de 8 a 30m. Con la observación de campo se ha podido confirmar la relación directa entre esta morfología escalonada del perfil del cauce y la alternancia litológica entre niveles basálticos competentes asociados a los replanos, y



Foto 12- Salto en el cauce de la quebrada El Cargadero

depósitos piroclásticos menos competentes que dan lugar a los saltos. Sin descartar la posibilidad de que se encuentren asociados en ocasiones a fallas verticales.

## 8.1.2. Morfometría

### Caracteres cuantitativos de la red de drenaje

Según Strahler (1964) el término “morfometría fluvial” queda definido como la medida de las propiedades geométricas de la superficie sólida de un sistema de erosión fluvial, de forma que el análisis morfométrico de una cuenca se aplica a medir la erosión de los cursos de agua interpretando las características geométricas (longitudinales, de superficie, etc.) de los elementos de las redes de drenaje. El análisis morfométrico, en definitiva, pretende cuantificar la evolución en el paisaje fluvial y definir el estadio de evolución en que se encuentra y, así, valorar su estado erosivo. Siguiendo esta metodología de Strahler, se tratan a continuación los siguientes parámetros.

### Relación de Bifurcación

Es la proporción existente entre el número de segmentos de un orden dado y los del orden inmediato superior.

$R_b$  = Relación de Bifurcación

$N_u$  = Número de cauces de orden “u”

$N_{u+1}$  = Número de cauces del orden inmediato superior a “u”

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

Quebrada El Cargadero			Quebrada La Quebradona			Quebrada California		
Orden del Cauce	Número de cauces	Rb	Orden del Cauce	Número de cauces	Rb	Orden del Cauce	Número de cauces	Rb
1	36	4.5	1	20	6.6	1	5	2.5
2	8	2.6	2	3	3	2	2	2
3	3	1.5	3	1		3	1	
4	2							
		2.9			4.8			2.25

Tabla 2- Relaciones de bifurcación.

Los valores de los índices obtenidos puede no caracterizar a las cuencas fielmente ya que estamos analizando parte de la cuenca donde los cauces son torrentes no permanentes.

Los valores de bifurcación media para las quebradas de *El Cargadero* y *La Quebradona* varían entre 3 y 5 correspondientes a áreas de montaña, donde la relación entre los segmentos de orden 1 y 2 muestran los valores más altos indicativos de fuertes pendientes, y fuerte dependencia estructural en cuencas estrechas y alargadas. Estos valores quedan reducidos dado el ensanchamiento de las cabeceras de ambas quebradas.

Estas diferencias entre las relaciones de bifurcación de distintos órdenes es indicio de distintas fases erosivas de la cuenca, quedando bien reflejado en las dos primeras quebradas, donde la fase erosiva de la cabecera y la parte más baja difieren.

Si analizamos, la evolución de los diferentes tramos para las quebradas *El Cargadero* y *La Quebradona*, se puede observar como disminuye la relación de bifurcación una vez pasada la cabecera. Este hecho es debido a la disminución de la superficie disponible al aumentar el orden de la cuenca, es decir, al avanzar a lo largo de su trazado. Es característico de cuencas alargadas donde *La Quebradona*, con relación más alta, muestra un ensanchamiento en su tramo medio.

En general, una cuenca está bien jerarquizada cuando a lo largo de su trazado presenta relaciones de bifurcación homogéneas, sino, como es el caso, habrá una clara tendencia evolutiva de la red, que será propensa a alcanzar una jerarquización adecuada a costa de incidir en las cabeceras. La jerarquización deficitaria de las aguas que presentan estas quebradas, da lugar a un importante potencial erosionable por acción lineal y sobre todo laminar en áreas con pérdida de cubierta vegetal, como son las laderas afectadas por inestabilidades.

También es posible apreciar la influencia de áreas de gran cobertura vegetal, estas retienen más el agua que las áreas desprotegidas, y por tanto han de presentar redes de drenaje menos jerarquizadas. La deforestación intensa que está afectando el volcán de Usulután, provoca un aumento de la escorrentía superficial, observable por el aumento de incisiones y torrentes incipientes que se están generando, principalmente en las quebradas *El Cargadero* y *La Quebradona*.

Los valores bajos de bifurcación, en cuanto a la implicación hidráulica, son característicos de presentar una elevada peligrosidad por inundación por concentración brusca de la escorrentía en pocos cauces, que muestran un marcado retardo alcanzando picos de crecida importantes (SALA Y GAY, 1981).

## Relación de longitud

Definida como la proporción existente entre la longitud media de los segmentos de un orden dado y la de los segmentos del orden inmediato inferior.

$R_i$  = relación de longitud

$L_u$  = longitud de un cauce de orden  $u$

$L_{u-1}$  = longitud de un cauce de orden  $u-1$

$$R_i = L_u / L_{u-1}$$

Quebrada <i>El Cargadero</i>		Quebrada <i>La Quebradona</i>		Quebrada <i>California</i>	
Orden del Cauce	Longitud media (m)	Orden del Cauce	Longitud media (m)	Orden del Cauce	Longitud media (m)
1	211.93	1	228.92	1	291.82
2	438.34	2	499.10	2	48.02
3	159.81	3	3795.7	3	1389
4	4558.43				

Tabla 3- Longitudes medias

Los valores medios que se obtienen entre las longitudes medias de los diferentes ordenes varían de acuerdo a la morfología de las cuencas. Los valores medios que se suelen obtener en la relación de longitud oscilan entre 1.5 en cuencas en las que se incrementa poco la longitud de los cauces y 3 para cuencas en las que los órdenes superiores presentan grandes longitudes.

Para la cuenca de *El Cargadero* se obtienen unos valores bajos para la parte de alta de la cuenca donde se incrementa poco la longitud de los cauces mostrando mayor energía concentrada bruscamente; y altos para los órdenes superiores que presentan grandes longitudes correspondientes a la parte baja de la cuenca en estudio donde la concentración de caudales es más paulatina, mostrando de nuevo un indicio de la presencia de diferentes etapas erosivas en la misma cuenca. Los valores obtenidos son algo anómalos: 2,06/ 0,36/ 28,52 para las relaciones entre los órdenes 2-1, 3-2 y 4-3. Estos valores anómalos pueden deberse a la combinación de varios factores, entre ellos, la baja evolución en la que se encuentra la red de drenaje y la dependencia estructural de los cauces que los condiciona a seguir un curso rectilíneo y subparalelo.

Para el caso de la quebrada *California* la progresión es moderada dando valores de 1,6 y 2,97 para la relación de longitud de los órdenes 2-1 y 3-2 respectivamente

El caso de *La Quebradona* nos indica una progresión en relación a los órdenes de los cauces, dando valores de 2,18 y 7,6 para las relaciones entre los órdenes 2-1 y 3-2 respectivamente.

Se observan relaciones de longitud de rasgos similares para las quebradas en estudio, características en la cabecera por una mayor energía, concentrada más bruscamente que en la parte más baja, donde la concentración es más paulatina.

**Longitud del cauce principal** y de la red de drenaje; la longitud máxima que puede alcanzar un cauce esta condicionada por el tamaño de superficie que ha de drenarse. Hemos delimitado la cota inferior y los valores de longitud del cauce principal, área y perímetro para cada quebrada, adjuntada en la tabla siguiente.

**Área** de la cuenca, estimada mediante SIG.

**Perímetro** de la cuenca: no es más que la proyección horizontal de los límites de la cuenca. Estimado mediante SIG.

Quebradas	Cota inferior m.s.n.m	Área (m <sup>2</sup> )	Perímetro (m)	Longitud cauce principal (m)
<b>El Cargadero</b>	270	1.645,980	11.928	5.510
<b>La Quebradona</b>	390	1.355.720'8/2.420*	7.761	4.142
<b>California</b>	770	680,9	3.996	2.354

Tabla 4- Parámetros de las cuencas. \* Área representada por la suma de sus colectores hasta el punto de interés referente a los cálculos de caudales del capítulo 9. Para los parámetros de la propia cuenca, se tendrá en cuenta el área individual de esta.

### Factor de forma o relación de elongación

Es la razón entre el diámetro de un círculo con la misma área que la de la cuenca y la longitud del cauce principal de la misma. Cuanto más se acerca la razón al valor unidad, más se aproxima la forma de la cuenca al círculo, y por tanto, cuanto mayor sea el valor hallado menos elongada será la cuenca (SALA y GAY, 1981\*):

\*Siguiendo a SCHUMM (1956), que propone la fórmula:

A; superficie de la cuenca (Km<sup>2</sup>)

L; longitud máxima cauce (Km<sup>2</sup>)

$$R_e = 1,129 A^{0.5} / L$$

Quebradas	Factor de forma
<b>El Cargadero</b>	0.26
<b>La Quebradona</b>	0,31
<b>California</b>	0.39

Tabla 5- Factor de forma

Sabiendo que el máximo es de 1,275 para cuencas circulares, se puede caracterizar a las tres cuencas con tendencia general elongada. Si miramos más detalladamente las cabeceras de las cuencas (de fuertes pendientes) tienden a la esfericidad quedando eclipsada

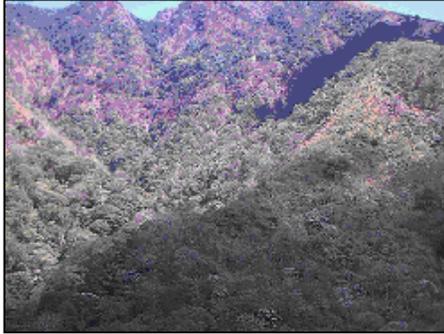


Foto13- Cabecera quebrada El Cargadero

esta morfología por la tendencia general. Según (SENCIALES, 1995) las cuencas elongadas presentan un claro retardo de la concentración de la escorrentía a causa de la gran longitud del cauce principal, y con ello, mayor brusquedad de la crecida, una vez concentradas las aguas.

### Factor de circularidad, MILLER 1953

Se pone en relación el área de la cuenca y el área de un círculo con igual perímetro.

p; perímetro de la cuenca (km)  
 A; área de la cuenca (km<sup>2</sup>)

$$R_C = 4\pi A / p^2$$

Cuencas	Cargadero	Quebradona	California
<b>Factor de circularidad</b>	0.14	0.28	0.52

Tabla 6- Factor de circularidad

El máximo valor equivale a la unidad, por lo que se corrobora de nuevo la elongación de las cuencas en estudio.

### Densidad de drenaje

Está referido a kilómetros de cauces por unidad de superficie en km<sup>2</sup>. Revela el estado erosivo de una red hidrográfica (LOPEZ BERMÚDEZ, 1988). Según STRAHLER (1964):

$\Sigma L_k$ ; suma de la longitud total en kilómetros de todos los órdenes  
 $A_k$ ; área total de la cuenca

$$D = \Sigma L_k / A_k$$

Cuencas	Cargadero	Quebradona	California
<b>Densidad drenaje</b>	7.8	7.1	5.56

Tabla 7- Densidad de drenaje

Según la interpretación de STRAHLER- Valores inferiores a 10 indican baja densidad de drenaje y una textura gruesa, lo que suele darse en zonas de gran masividad litológica y espesa cobertura vegetal, así como en materiales muy permeables y con alta infiltración.

Según la interpretación- MORISAWA (1985):

D <sub>d</sub>	Suelo/permeabilidad	Clima	Vegetación	Textura
<8	Permeable o roca resistente	Húmedo	abundante	gruesa

Tabla 8- Interpretación de MORISAWA de la densidad de drenaje

La correlación que ambos autores aplican entre cobertura vegetal y densidad de drenaje, basada en “áreas más desprotegidas de vegetación suelen presentar altas densidades de drenaje” no se corresponde en el área de estudio. Aunque la densidad de drenaje en las tres quebradas es baja, la alta aceleración de la deforestación que afecta al área, antrópica y natural, acentuada por los deslizamientos producidos por los sismos de principios de año del 2001, está produciendo una evolución del sistema de drenaje de la cuenca, por tanto un aumento de la densidad de drenaje. La falta de fotografías aéreas actualizadas a pequeña escala, hace imposible la tarea de determinar las nuevas incisiones. Por tanto, los valores obtenidos son caducos y no reflejan, principalmente en las quebradas *El Cargadero* y *La Quebradona*, la actual red de drenaje.

### Razón del relieve

Es la relación entre el desnivel de la cuenca y la longitud máxima de la misma. Tiene una relación directa con la pérdida anual de sedimentos (SALA Y GAY, 1981).

Fórmula de SCHUMM 1956 (se obtiene la pendiente máxima de la cuenca)

H; desnivel máximo de la cuenca

L<sub>max</sub>; longitud máxima proyectada del valle.

$$R_r = H / L_{max}$$

Fórmula de MELTON 1957 (se obtiene la pendiente media o razón relativa de relieve)

H= desnivel absoluto de la cuenca

P= perímetro de la cuenca

$$R = H/P$$

Cuencas	<i>Cargadero</i>	<i>Quebradona</i>	<i>California</i>
Razón de relieve (SCHUMM, 1956)	0.23	0.22	0.31
Razón de relieve (MELTON, 1957)	0.103	0.100	0.128

Tabla 9- Razón de relieve según SCHUMM y MELTON

Con la fórmula de SCHUMM se obtiene la pendiente máxima de la cuenca, mientras que con la de MELTON se obtiene la pendiente media o “razón relativa de relieve” (GREGORY Y WALLING, 1973). Tales valores son útiles por ser comparables con otras cuencas del entorno y sus respectivas pérdidas de suelo, con lo que se puede estimar el efecto erosivo que introduce la razón de relieve en diferentes cuencas con características similares.

Los valores analizados en las quebradas tienden a ser bajos, quedando eclipsada la alta razón de relieve de las partes altas de la cabecera.

La razón de relieve hace posible conocer la existencia de áreas locales con gran velocidad de los caudales, mientras que la razón relativa de relieve considera en mayor medida la existencia de fuertes velocidades de caudales, debidas a la pendiente de la cuenca.

Un fuerte desnivel implica mayor velocidad del caudal y mayor capacidad denudativa. Esta capacidad es potencial, ya que depende de la presencia del caudal y de su volumen, de la intensidad de las precipitaciones que provocan caudales diferentes y de la resistencia del sustrato a ser erosionado por la acción mecánica.



Foto 14- Salto en la cabecera de la quebrada El Cargadero

En las cabeceras de las quebradas se observan fuertes desniveles con pendientes superiores al 50% influyendo directamente en la velocidad que puede llevar el caudal a lo largo del cauce, lo que condiciona su energía cinética, y por tanto, su potencial erosivo. En estos puntos los cauces se encuentran encajados en el sustrato donde predomina la ausencia de material en cauce, únicamente algunos bloques de grandes dimensiones se encuentran encajados en los puntos donde el cauce se estrecha. A medida que disminuyen los desniveles, a partir de la cota 800m se encuentra material en el propio cauce, indicativo de la disminución del poder denudativo del caudal.

### Número de Rugosidad de STRAHLER

Relaciona el desnivel máximo de una cuenca con su densidad de drenaje.

$$NR = H \cdot Dd$$

Es útil para el análisis evolutivo, dado que al comparar una misma red en años diferentes, un aumento de los desniveles o de la densidad de drenaje conllevará un aumento del número de rugosidad, lo que implica un incremento de la acción erosiva, bien por acentuarse la pendiente o bien por intensificarse la arroyada concentrada. El elevado ritmo de erosión de las quebradas en estudio, hace que dicho factor pueda ser útil para un futuro cálculo de la velocidad de erosión de estas.

Cuencas	Cargadero	Quebradona	California
Número de Rugosidad	9601	8591	2097

Tabla 10- Número de rugosidad

Las quebradas, *El Cargadero*, *La Quebradona* y *California* aún presentar distintas fases de evolución presentan características muy similares en lo que respecta a caracteres morfológicos y morfométricos.

Parámetros cualitativos como la tipología de red de drenaje, sinuosidad, perfil longitudinal caracterizan a las tres microcuencas por presentar una red de drenaje poco evolucionada con cierta dependencia estructural, con fuertes pendientes, y un potencial erosivo alto principalmente en las partes altas de las quebradas, donde el cauce se encaja en el propio substrato. El carácter erosivo queda reflejado a la vez por el tamaño de partículas que predominan en el lecho de las quebradas, que aún ser gran parte del material aportado por las numerosas inestabilidades que afectan las laderas, la socavación de las partes bajas en las partes bajas, influye de manera indirecta en la generación de parte del material. Las fuertes pendientes asociadas a la parte alta y media de las quebradas y el régimen de precipitaciones estacionario y característico por altas intensidades de lluvia, dan lugar a un régimen torrencial no permanente con fuerte potencial erosivo y energía cinética capaz de transportar una carga sólida importante.

Parámetros cuantitativos como la relación de bifurcación, relación de longitud, densidad de drenaje, etc., reflejan las distintas fases erosivas en la cabecera y partes media y baja de las quebradas, así como su tendencia evolutiva a costa de incidir en las cabeceras para alcanzar una adecuada jerarquización. La implicación hidráulica de estos parámetros indican una alta probabilidad de inundación por concentración brusca de la escorrentía en pocos cauces, reflejado en un marcado retardo, alcanzando picos de crecida importantes.