

III. ANALISIS GEOMORFOLOGICO DE LA CUENCA.

1. Importancia de la geomorfología.

La geomorfología estudia y pretende cuantificar determinados rasgos de la superficie terrestre. La cuenca actúa como un colector que recibe las precipitaciones y las transforma en escurrimientos, esta función se realiza con ciertas pérdidas cuya interrelación con los factores hidrológicos, el clima y configuración del terreno es muy compleja. (1)

A la fecha se han comprobado la influencia de ciertos índices con las respuestas hidrológicas de una cuenca como lo son: el área, su forma, pendiente y elevación media, las características de su red de drenaje y las del cauce principal. Es conveniente aclarar que el carácter hidrológico tiende a formar las características físicas de la cuenca aceptando ésta interrelación de puede predecir la respuesta hidrológica de una cuenca. Esto constituye una de las aplicaciones más importantes de la Geomorfología. (1)

2. Area de la Cuenca.

Divisoria o Parteaguas: Línea imaginaria del contorno de una cuenca hidrográfica que la separa de las demás y distribuye el escurrimiento originado por la precipitación en el sistema de cauces que fluye hacia la salida de la cuenca. (1)

El área de una cuenca es el área plana en proyección horizontal encerrada por su divisoria. Según investigaciones hidrológicas existen diferencias entre una cuenca grande y una cuenca pequeña en cuanto a su respuesta hidrológica. En una cuenca pequeña su respuesta estará condicionada por el tipo de suelo y cobertura, en una cuenca grande habrá que darle más cuidado a la hidrología del cauce principal. (1)

En base a su magnitud las cuencas se pueden clasificar como lo indica la tabla III. 1.

La cuenca del Río Altar tiene un área de 1980 km² por lo que cae en el tipo de intermedia grande, por lo cual habrá que darle más atención a la hidrología del colector principal para poder predecir su respuesta hidrológica.

TAMAÑO DE LA CUENCA (Km ²)	DESCRIPCION
<25	Muy pequeña
25 a 250	Pequeña
250 a 500	Intermedia - pequeña
500 a 2500	Intermedia - grande
2500 a 5000	Grande
>5000	Muy grande

Tabla III.1 Clasificación propuesta para las cuencas. (1)

3. Coeficiente de Compacidad.

Se define como el perímetro de la cuenca (P) y la circunferencia (Pc) de un círculo de área igual al tamaño de la cuenca en km².(1)

$$C_c = P/P_c = 0.282 P / \sqrt{A} \quad (\text{III.1})$$

El Perímetro de la cuenca es de 282 kms.

$$C_c = 0.282 (282) / \sqrt{1980} = 1.78$$

Por lo que tenemos una cuenca poco circular y puede decirse que su hidrograma sería como el tipo A que se muestra en la siguiente Figura:

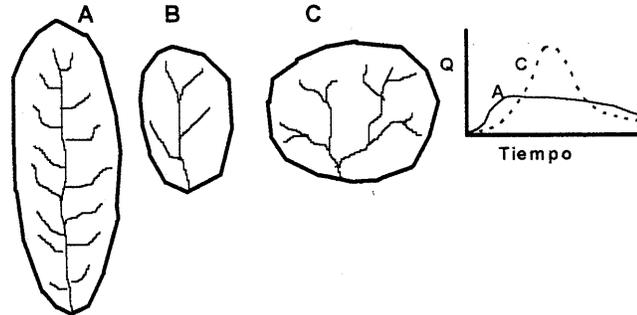


Figura III.1 Cuencas hipotéticas con sus hidrogramas esquemáticos de avenida. (1)

4. Relación de Elongación.

Se define como el cociente entre el diámetro (D) de un círculo que tiene igual área que la cuenca y longitud (Lc) de la misma. La longitud Lc se define como la más grande dimensión de la cuenca, a lo largo de una línea recta desde la salida hasta la divisoria.(1)

$$Lc = 69 \text{ kms}$$

$$Re = D/Lc = 1.284 \sqrt{A} / Lc$$

$$Re = 1.284 \sqrt{1980} / 69 = 0.82$$

Este parámetro está relacionado con el tipo de relieve de la cuenca y cuando se acerca a uno significa que es una zona de bajos relieves, si está entre 0.60 y 0.80 es una zona de fuertes relieves, por lo que podemos decir que la cuenca del río Altar se encuentra en una zona de bajos relieves.

5. Curva hipsométrica.

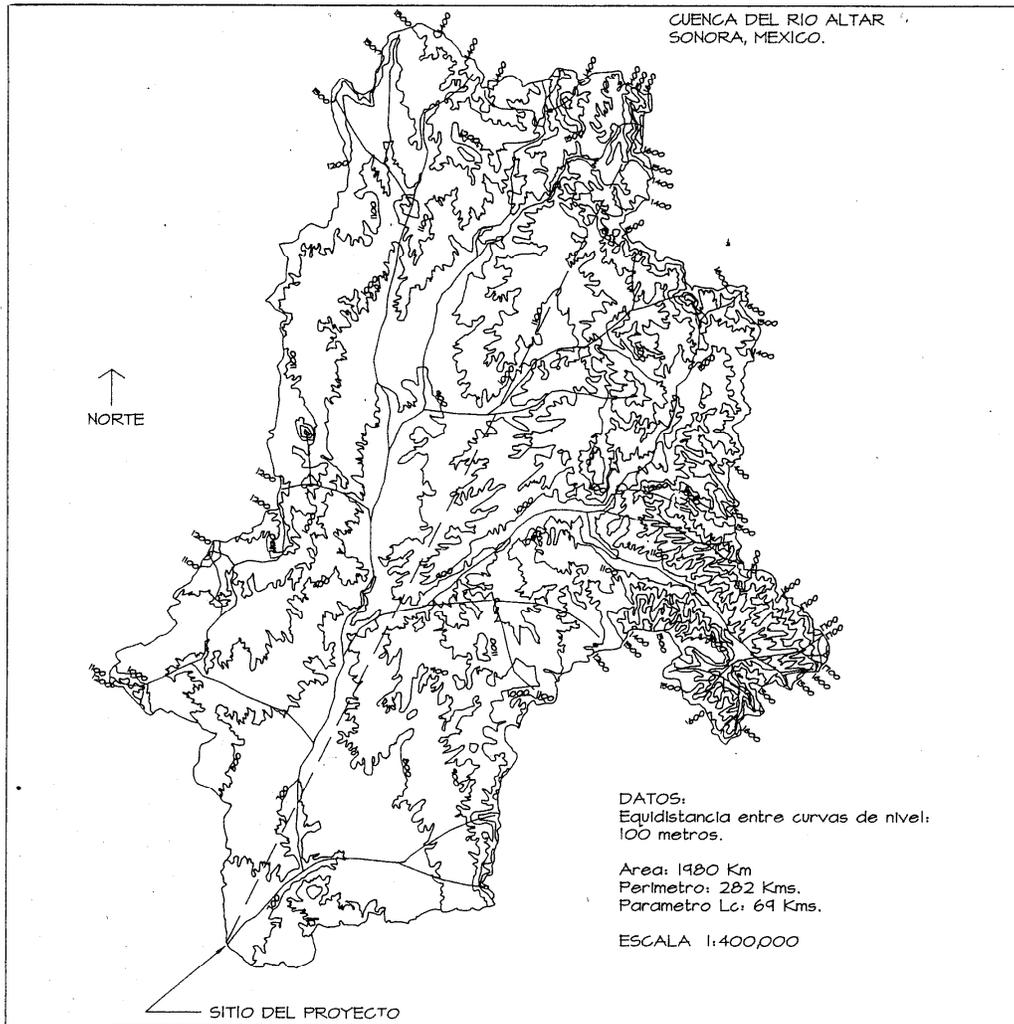
Para estudiar la topografía de áreas drenadas, Longbien en 1947 introdujo la curva hipsométrica unitaria. La curva traza el porciento de área (El área dividida entre el total del área de la cuenca) de la cuenca sobre una determinada curva de nivel. El porcentaje de elevación se define como la elevación entre la altura total de la cuenca H. La figura III.3a ilustra la construcción de la curva hipsométrica. La figura III.3b muestra diferentes tipos de formas que puede adquirir la curva hipsométrica. (4)

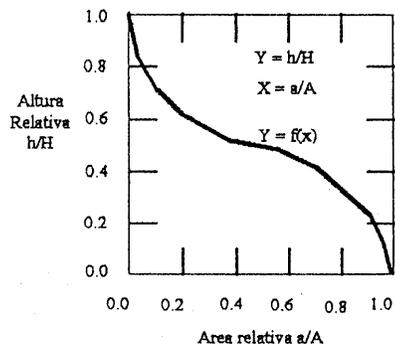
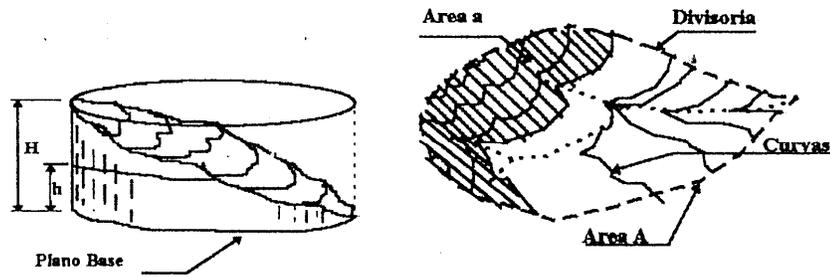
Davis en 1899 sugirió que las cuencas evolucionaron después de un levantamiento tectónico dando resultado a la erosión y degradación al paso del tiempo. Por lo dicho anteriormente la curva del tipo A será una cuenca geológicamente joven, La curva B una cuenca joven de pie de montaña y la del tipo C corresponde a una cuenca de valle más vieja y erosionada. (4)

Los datos de áreas, elevaciones y áreas acumuladas se encuentran en la tabla III.2.

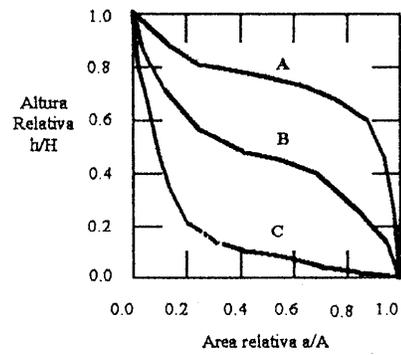
Se presenta las gráficas de las curvas hipsométricas y la curva hipsométrica unitaria. Figuras III.4 y III.5

Estudio Topohidráulico e Hidrológico sobre el Río Altar

*Figura III.2 La cuenca del Río Altar y Lc.*



(III.3a)



(III.3b)

Figura III.3 Construcción de la curva hipsométrica. (4)

Elevación (m.s.n.m.)	Area (Km2)	Area acumulada
1800	1	1
1700	3	4
1600	11	15
1500	35	50
1400	74	124
1300	149	273
1200	231	504
1100	292	796
1000	349	1145
900	345	1490
800	249	1739
700	202	1941
600	38	1979

Tabla III.2 Areas y elevaciones para la construcción de la curva Hipsométrica.

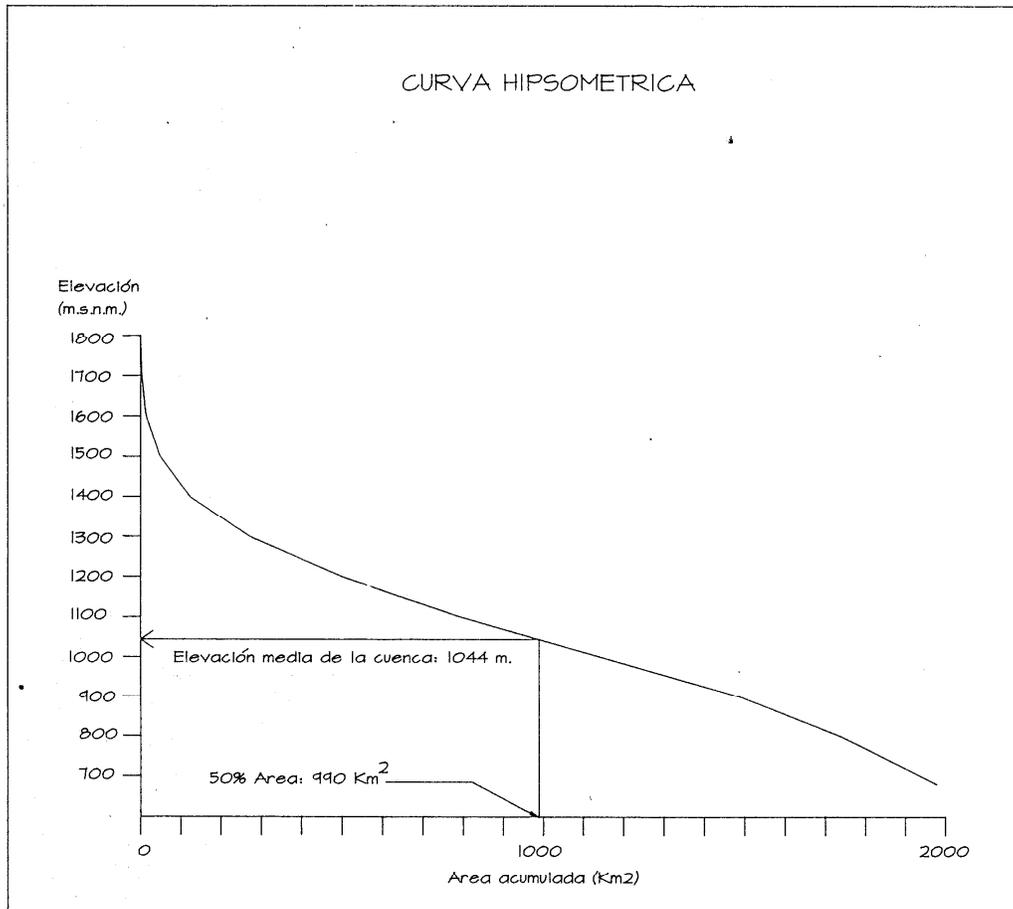


Figura III.4 Curva hipsométrica y elevación media de la cuenca.

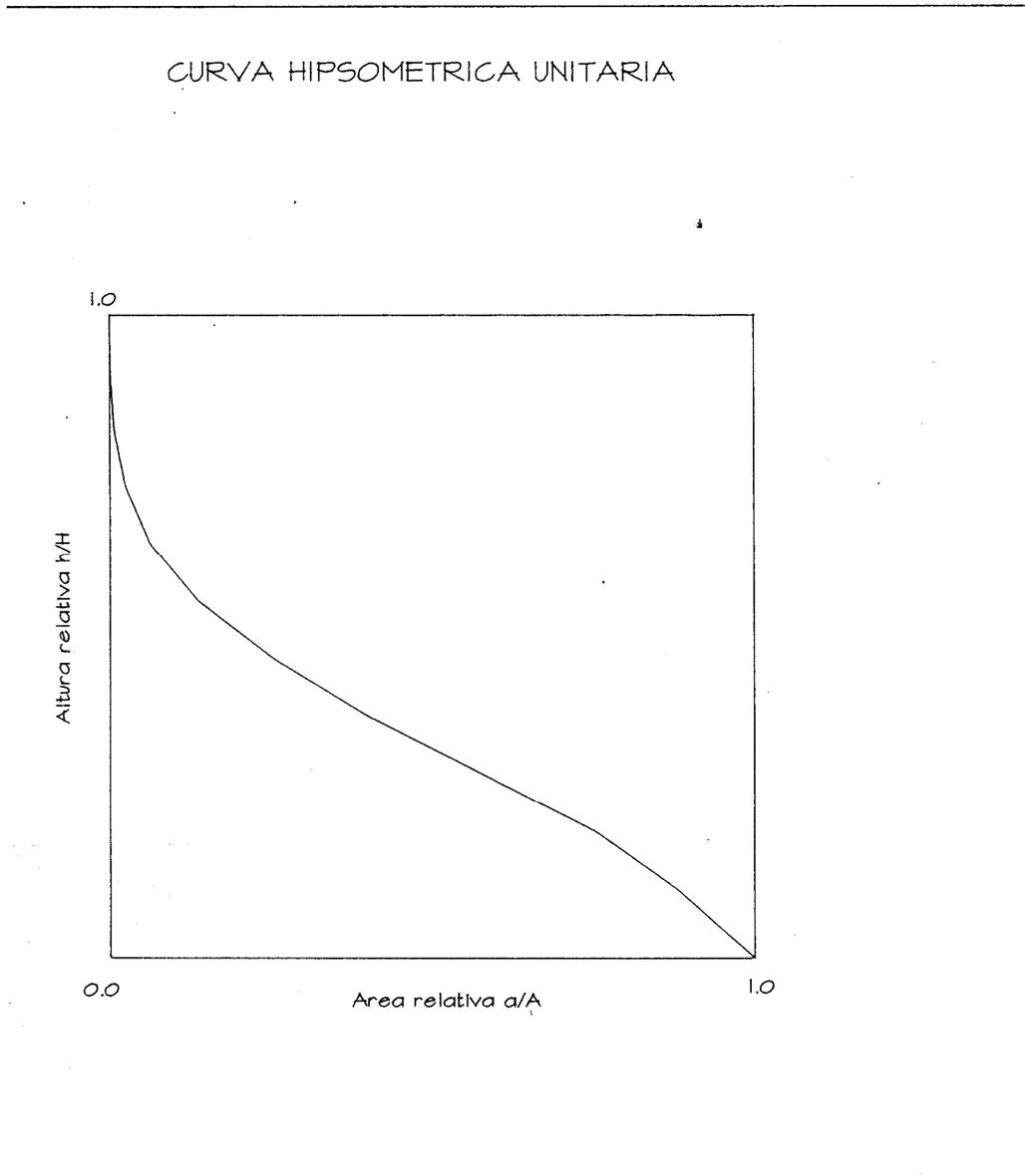


Figura III.5 Curva hipsométrica unitaria.

Por lo que se observa en la gráfica puede notarse que la cuenca está entre una etapa de equilibrio y una cuenca erosionada de valle, característico de zonas geológicamente viejas localizadas principalmente en lugares próximos a las desembocaduras de los ríos.

6. Rectángulo Equivalente.

Roche supone que el escurrimiento de una cuenca debe ser aproximadamente el mismo en condiciones climatológicas idénticas en un rectángulo de igual área, a este le llamó el rectángulo equivalente. El rectángulo equivalente es la transformación de la cuenca a un rectángulo de igual perímetro, convirtiéndose las curvas de nivel en rectas paralelas al lado menor. (1)

El lado mayor está dado:

$$L = \frac{C_c \sqrt{A}}{1.128} [1 + \sqrt{1 - (1.128/C_c)^2}] \quad (\text{III.2})$$

El lado menor :

$$l = \frac{C_c \sqrt{A}}{1.128} [1 - \sqrt{1 - (1.128/C_c)^2}] \quad (\text{III.3})$$

Sustituyendo los datos de C_c y A se obtiene:

$$L = 124.5$$

$$l = 15.9$$

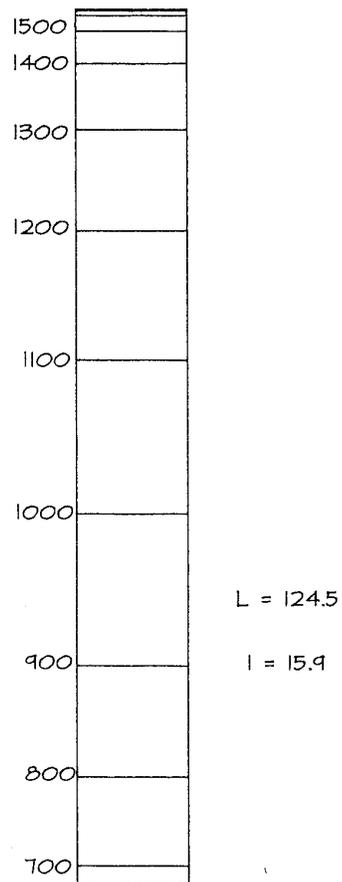
su construcción se muestra en la figura III.6.

7. Elevación Media de la Cuenca.

Este es el parámetro que explica la variación de los principales elementos genéricos del régimen hidrológico como las precipitaciones (P), la temperatura del aire, la pendiente del terreno y la densidad de drenaje (Dd) como se ilustra en la figura III.7 .

RECTANGULO EQUIVALENTE

ESCALA 1:10

*Figura III.6 Rectángulo Equivalente*

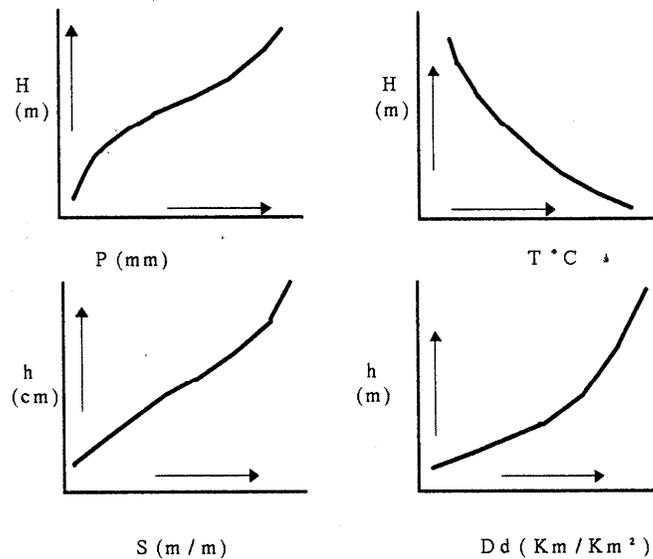


Figura III.7 Relaciones entre la altura (H) y la elevación media de la cuenca (h) y varios elementos del régimen hidrológico. (1)

La elevación media de la cuenca se puede estimar a partir de la mediana en la curva hipsométrica, como el 50 % del área total.

De la figura de la curva hipsométrica (Fig. III.4) obtenemos la elevación media de la curva que es: 1044 m.

8. La pendiente de la cuenca.

La pendiente de la cuenca tiene una relación importante con la infiltración, el escurrimiento superficial, la humedad del suelo y la contribución del agua subterránea a los cauces, conforme aumenta ésta aumenta la velocidad del escurrimiento, creciendo las magnitudes de las avenidas, la erosión y la contribución de sedimentos como se muestra en la figura III.8.

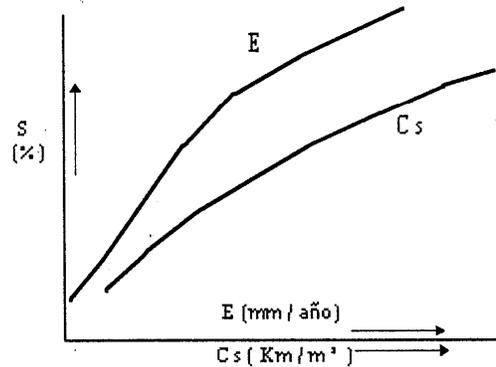


Figura III.8 Variación en la erosión media anual (E) y en la concentración de sedimentos (Cs) con la pendiente media (S) de las cuencas. (1)

8.1. Criterio de Alvord.

La pendiente media según Alvord está dada por:

$$S_c = (D)(L)/A$$

en donde:

- D = la equidistancia entre las curvas consideradas de nivel,
- L = Longitud total de las curvas de nivel, y
- A = Area de la cuenca.

Para nuestro caso: L = 2732 Kms., D = 100 m., A = 1980 km². La pendiente media de la cuenca está dada por:

$$S_c = (100)(2732)/1980$$

$$S_c = 13.8 \%$$

8.2. Criterios de Horton.

Con este criterio, se divide la cuenca en una cuadrícula con suficiente número de cuadrados, se suman intersecciones de las líneas X e Y con las curvas de nivel (nx,ny) y se obtienen las longitudes totales de las mallas en dirección X e Y (Lx,Ly). La pendiente de la cuenca será según Horton:

$$S_x = \frac{\sum nxD}{\sum Lx}$$

y

$$S_y = \frac{\sum nyD}{\sum Ly}$$

En donde D representa la diferencia de nivel entre curva y curva. A continuación se presenta la cuenca con su malla y una tabla con los valores anteriores calculados Figura II.9 y Tabla III.3.

La pendiente de la cuenca (S_c) puede tomarse como el promedio aritmético de S_x y S_y ; por lo que la pendiente (S_c) es aproximadamente 10%. Esta es una pendiente baja debido a que en promedio la cuenca está localizada en una zona geológicamente vieja y erosionada.

9. Características de la red de Drenaje.

Se le llama red de drenaje, al sistema de cauces por el que fluyen los escurrimientos superficiales, subsuperficiales y subterráneos de manera temporal o permanente. (1)

En base a la constancia de su escurrimiento o flujo, las corrientes se pueden clasificar en perennes, intermitentes y efímeras, las corrientes perennes llevan agua todo el tiempo, las intermitentes llevan agua la mayor parte del tiempo, principalmente en épocas de lluvias; y las efímeras sólo llevan agua en épocas de lluvias. La corriente del río Altar cae en la clasificación de las corrientes intermitentes.

9.1. Modelo de Drenaje.

Entre los modelos de drenaje más comúnmente observados se ilustran en la siguiente figura III.10.

Estudio Topohidráulico e Hidrológico sobre el Río Altar

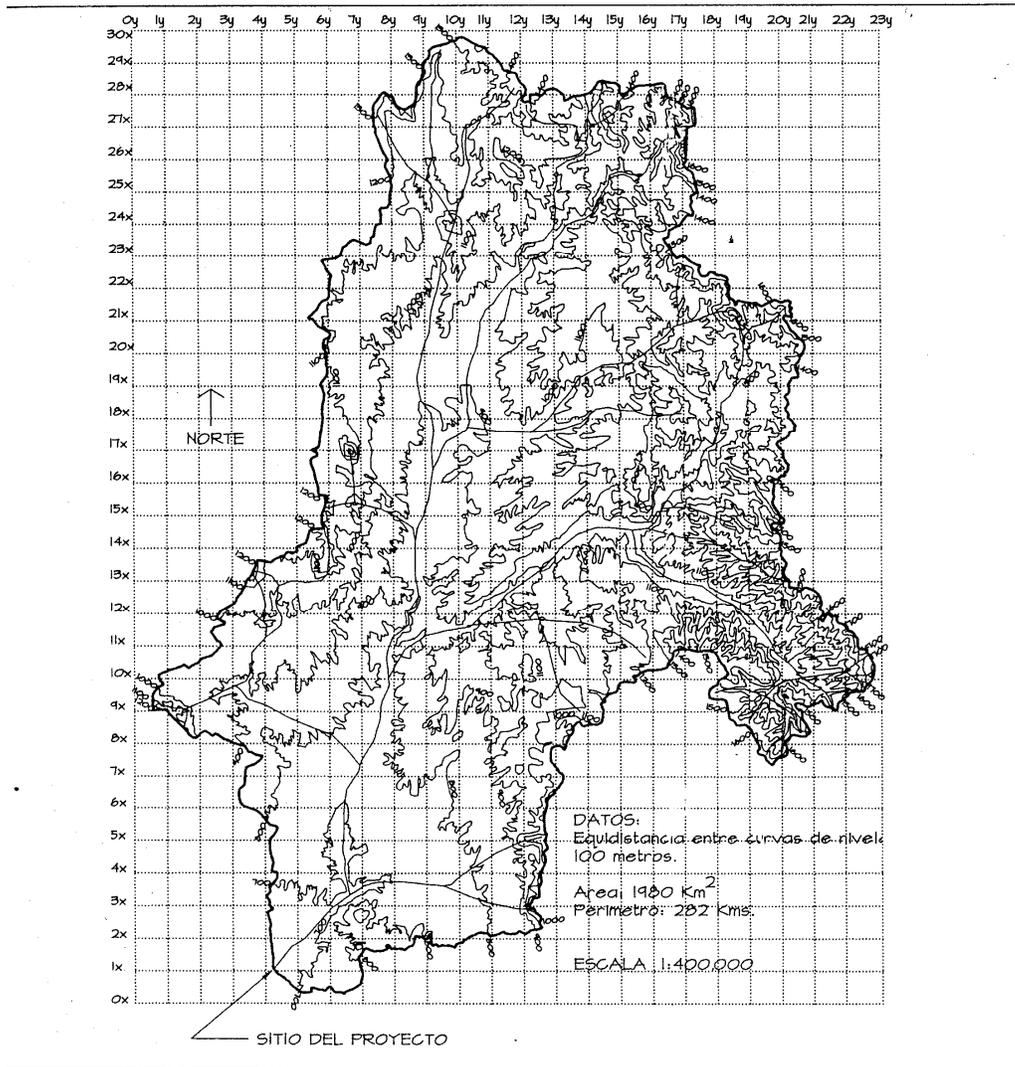


Figura III.9 La Cuenca y las líneas de Horton.

Estudio Topohidráulico e Hidrológico sobre el Río Altar

No. línea	Número de intersecciones		Longitudes (Kms)	
	Nx	Ny	Lx	Ly
1	3	2	6.50	3.00
2	4	0	13.10	5.40
3	8	11	19.30	10.20
4	6	17	19.40	19.10
5	7	17	20.40	32.70
6	11	48	22.00	53.90
7	14	39	24.00	53.80
8	19	45	26.20	62.90
9	31	30	38.10	64.10
10	46	41	46.60	66.60
11	62	47	47.40	65.30
12	61	69	44.90	63.50
13	37	43	40.30	51.90
14	41	53	35.80	46.60
15	51	45	34.00	44.40
16	46	62	33.90	43.20
17	36	49	34.60	37.70
18	37	47	34.60	28.10
19	28	71	34.70	31.30
20	27	51	35.30	28.90
21	35	20	35.00	8.40
22	28	12	29.80	5.20
23	39	-	25.00	-
24	32	-	22.40	-
25	28	-	22.60	-
26	25	-	22.20	-
27	30	-	23.40	-
28	22	-	16.30	-
29	8	-	5.60	-
Suma:	822	814	813.40	826.20
	Sx = 10.11%		Sy = 9.85%	

Tabla III.3. Intersecciones, Longitudes y sus sumas.

MODELOS DE DRENAJE MAS COMUNES

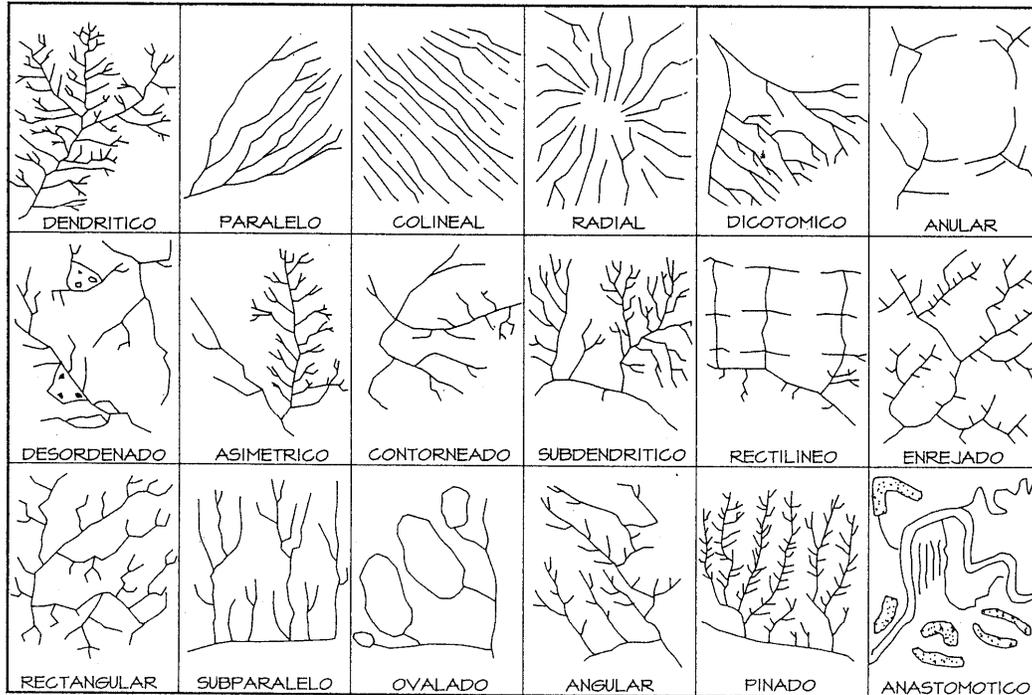


Figura III.10 Modelos de Drenaje más comunes. (1)

Por lo que podemos decir, que la cuenca del río Altar se presenta el drenaje tipo dendrítico en su parte nororiental y del tipo paralelo en su parte sureste.

9.2. Orden de las Corrientes.

R. E. Horton asignó a las corrientes más pequeñas como la de orden 1, es decir a aquellos que no están ramificadas, de orden 2 a las que tienen ramificaciones de orden 1, de orden 3 a las que tienen ramificaciones de orden 2, etc. En la cuenca de estudio llegó a ser de orden 6.

9.3. Densidad de Drenaje.

La densidad de drenaje (Dd) se define como la longitud total de los cauces dividida entre el área total de la cuenca en donde la suma total de los cauces fueron: 5419 kms. y el área de la cuenca 1980 km² por lo que (Dd) será:

$$Dd = \frac{\sum L}{A} = \frac{5419 \text{ kms.}}{1980 \text{ km}^2} = 2.738 \text{ km/km}^2. \quad (\text{III.5})$$

Esta densidad es alta debido a que en la zona noroeste de la cuenca es de relieve muy escarpado y montañoso (Sierras de la esmeralda, Cibuta y las Avispas).

9.4. Relación de Bifurcación.

Se define como el cociente entre la longitud de los cauces de cualquier orden y la longitud de los cauces de orden superior.

$$Rl = \frac{\overline{Lu}}{\overline{Lu-1}} \quad (\text{III. 6})$$

Siendo \overline{Lu} la longitud promedio de los cauces u y $\overline{Lu-1}$ longitud promedio de los cauces de un orden inferior a u.

De la cuenca tenemos que la longitud total del cauce de orden 6 es de 40.2 kms. De los cauces de orden 5 dan una longitud total de 94.3 kms. repartidos en seis de éstos, dando un promedio de 15.7 kilómetros por cauce de orden 5, Calculando Rl:

$$Rl = 40.2/15.7 = 2.56$$

dando un valor intermedio ya que Rl varía normalmente entre 1.5 a 3.5.

9.5. Modelo de Cauce y Endorreísmo.

Una cuenca hidrográfica en la que los escurrimientos no fluyen a un cauce principal sino que se encuentran en su parte baja, se denomina cuenca endorréica. La cuenca del río Altar presenta zonas de endoerrismo que es típico de zonas áridas y semiáridas, que es cuando ciertas corrientes no fluyen directamente al cauce principal, si no que se encuentran en las partes bajas de la cuenca, para de ahí fluir por medio del escurrimiento subterráneo con posibilidad de escurrir hacia otras cuencas.

De acuerdo con la forma de su alineamiento en planta, se distinguen 3 modelos de cauces. Cauces trenzados, que es cuando el canal se divide en varios canales interconectados

y separados por islas; cauces con meandros cuando el canal serpentea formando ondulaciones; y los cauces que son rectos. La corriente principal del río Altar presenta lugares con cauces trenzados indicando zonas fácilmente erosionables formados por materiales gruesos, arenosos y sin vegetación, siendo la profundidad del escurrimiento menor, con anchos grandes de cauce, formando llanuras de inundación; indicando también zonas de disipación de energía y de disminución de la velocidad de la corriente.

Al cociente de la distancia a lo largo del cauce entre la longitud del valle se le conoce como sinuosidad del cauce. En la corriente principal del río Altar, la longitud del valle es de 75 kms. y el largo del cauce es de 83 kms. dando sinuosidad de 1.1, que es una sinuosidad muy baja ya que generalmente en este tipo de zonas abundan los materiales arenosos poco cohesivos altamente erosionables, los cuales dejan paso libre al agua minimizando las ondulaciones, en las partes bajas de la cuenca cerca del sitio de proyecto la vegetación hace disminuir la influencia de las estructuras geológicas.

El ancho promedio del cauce principal se puede estimar por medio de la longitud de onda del cauce, que es la distancia entre dos puntos de inflexión abarcando a una orilla cóncava y otra convexa del mismo. La longitud de onda promedio de la corriente principal del río Altar es de 1.35 kms. La longitud de onda varía generalmente entre 7 y 11 veces el ancho del canal, dando con esto un ancho entre 122 y 192 m, reafirmando que es un cauce ancho, poco profundo y con llanuras de inundación.

10. Longitud del Cauce Principal.

10.1. Parámetro Lca.

El parámetro Lca se define como la longitud a lo largo del colector principal hasta un punto más cercano al centro de gravedad de la cuenca. Este parámetro está relacionado con el efecto de la respuesta hidrológica de una cuenca, ya que en una longitud corta los efectos de la precipitación se hacen sentir de una manera más rápida que en una longitud larga. Como se ilustra en la figura III.11. Lca para la cuenca del río Altar tiene un valor de 39.3 kms.

10.2. Longitud del Cauce Principal.

La longitud del cauce principal desde el punto de salida o sitio de proyecto hasta el punto más alto de la divisoria de la cuenca es de 83 kilómetros.

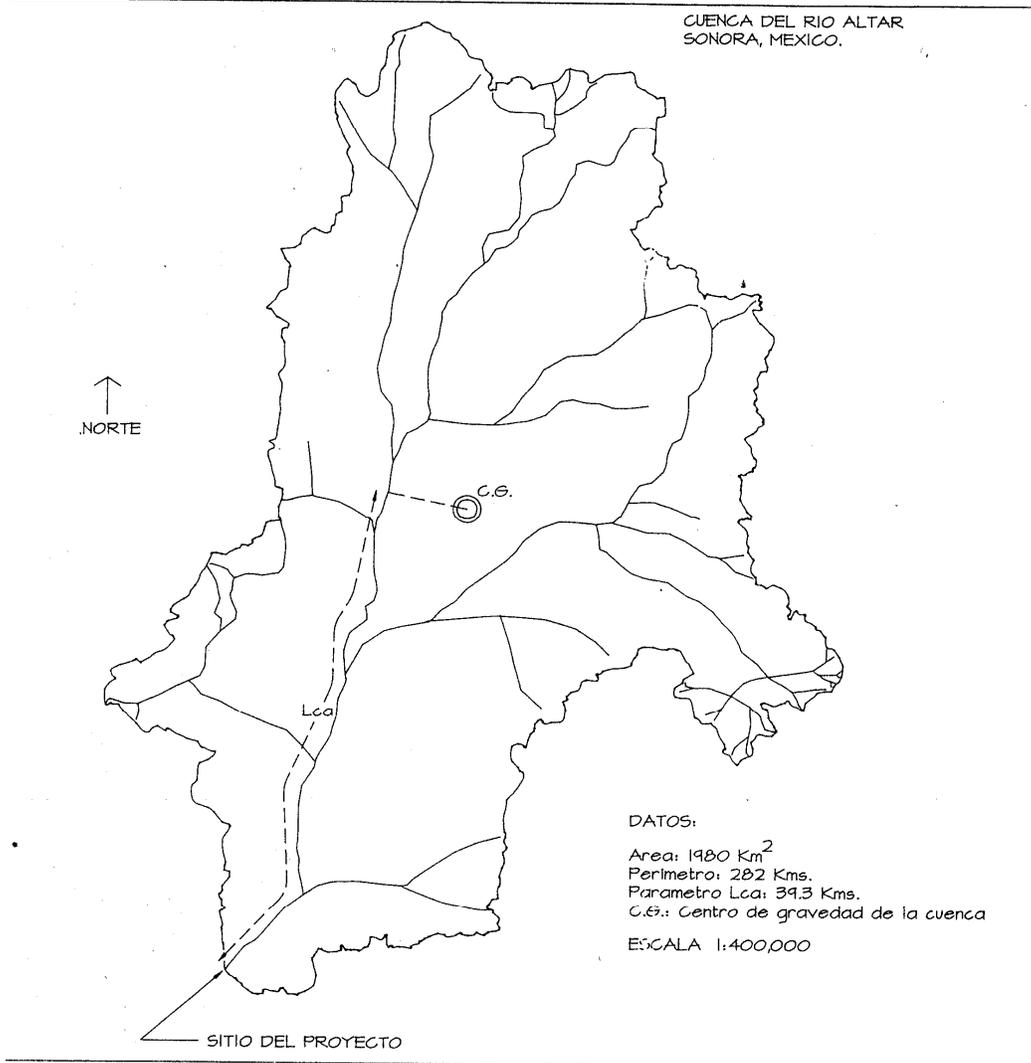


Figura III.11. Parámetro Lca.

11. Pendiente del Cauce Principal.

La pendiente del cauce principal se relaciona con las características hidráulicas del escurrimiento, la capacidad de transporte de sedimentos, la duración del tiempo promedio pico (t_p) y la duración promedio total (T_b) como se ilustra en la figura III.12.

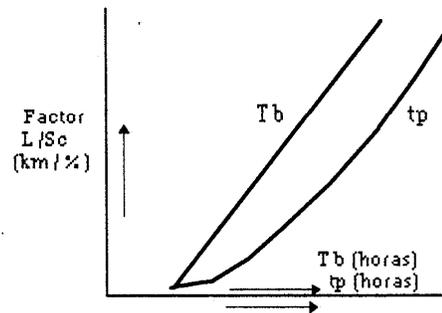


Figura.12 Influencia de la Longitud (L) y la pendiente (Sc) del colector principal, en los tiempos pico y base promedio del hidrograma.

Un criterio para calcular la pendiente del cauce principal consiste en dividir el desnivel del río entre su longitud :

$$S = H/L \quad (III.7)$$

Tomando el desnivel total que es de 1167 m. y su longitud de 83000 m.

$$S = 1167/83000 = 1.4 \%$$

Da una pendiente del 1.4 %

Otro criterio consiste en dividir el desnivel del cauce entre sus puntas a 10 y 85 % de su longitud total a partir de la salida, entre el recorrido del río en tales puntos. Entonces, el 15% del tramo del río con fuerte pendiente y el 10 % de su parte plana, son excluidos, siguiendo la figura III.13 la pendiente será:

$$S' = H'/0.75 L (1) \quad (III.8)$$

En 10 % L es 8 kilómetros y 15 % de L es 71 kms., a 8 kms. su altura H1 es de 665 m y en 71 kms H2 es de 1110 m, $H' = H2 - H1 = 1110 - 665 = 445$ m y 75 % de L es 0.75(83000) = 62 250 m. por lo tanto.

$$S' = 445 / 62\ 250, S' = 0.7 \%$$

La pendiente del cauce principal compensada es de 0.7 %.

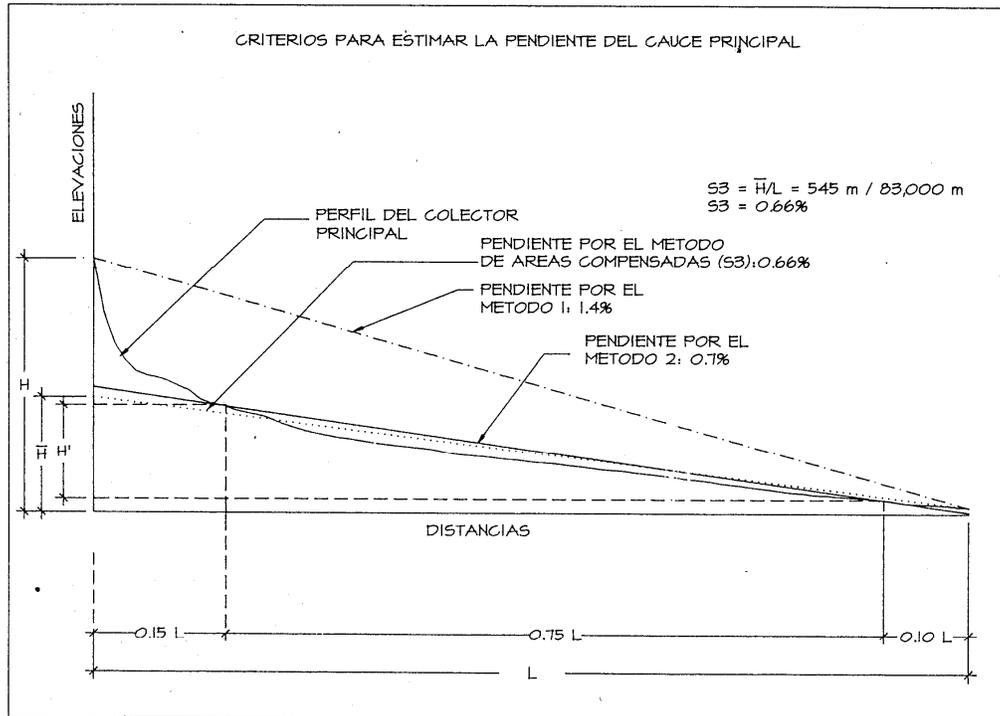


Figura III.13 Criterios de estimación de la pendiente del cauce principal.

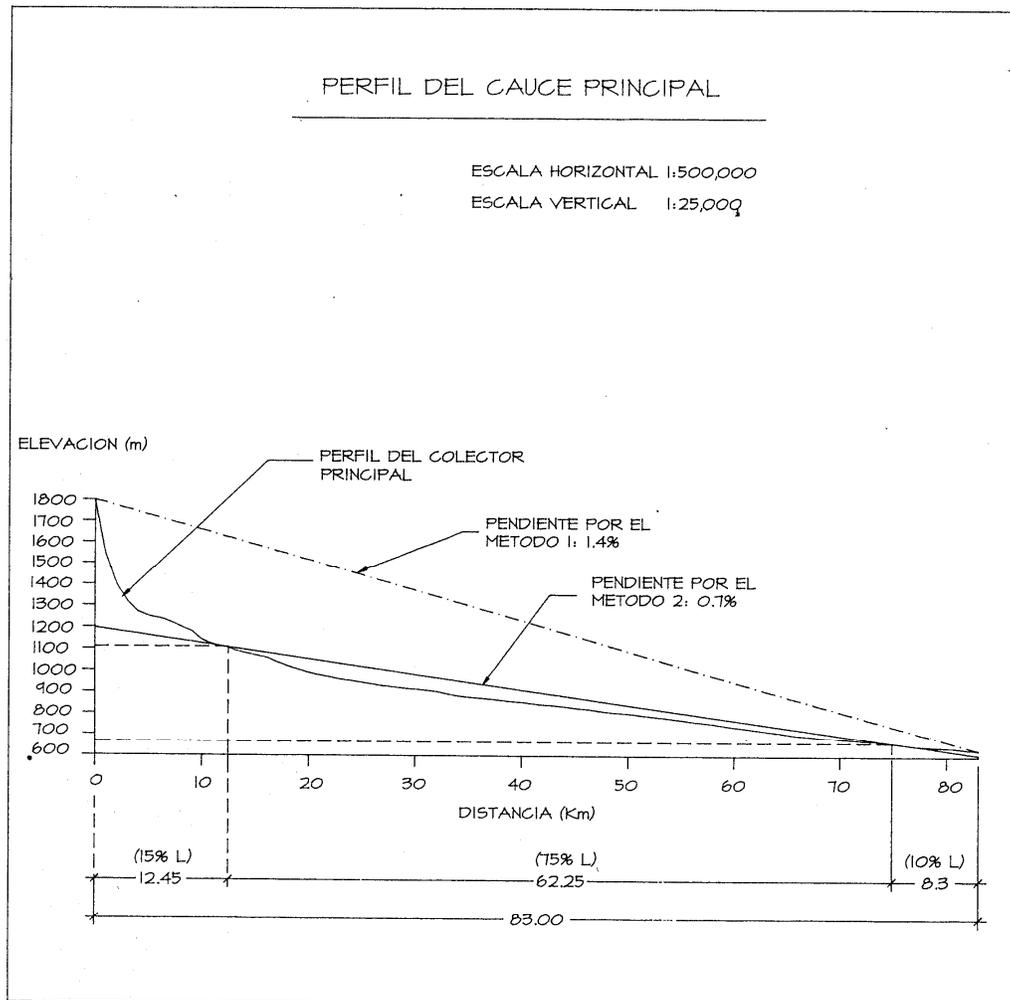


Figura III.14 Perfil del cauce principal y su pendiente

12. Características geológicas y del suelo.

El estudio del suelo tiene como propósito la clasificación de éste para conocer su permeabilidad y así poder estimar mejor la respuesta hidrológica de una cuenca. En la cuenca de estudio se reconocen tres tipos de suelos en los que se relaciona su permeabilidad con su capacidad para formar acuíferos, estos son los materiales consolidados con posibilidades bajas para formar acuíferos, materiales no consolidados con posibilidades medias y altas.

12.1. Material consolidado con posibilidades bajas

Está formado principalmente por rocas ígneas extrusivas, rocas ígneas intrusivas y por rocas sedimentarias como lutitas y areniscas en la parte noroeste de la cuenca; las rocas extrusivas como las riolitas tienen una estructura bandeada y las rocas intrusivas como el granito reciben el nombre de "Tucuruaguay" y presentan la apariencia de una arena gruesa pobremente cementada; en general éstas rocas son impermeables por naturaleza por lo que actúan como barreras subterráneas. Las rocas sedimentarias como las areniscas y las lutitas las cuales son respectivamente arenas y arcillas cementadas se encuentran dispuestas en estratos plegados y bien consolidados, ésta última característica limita sus posibilidades acuíferas. En la parte central de la cuenca está formada por rocas metamórficas como gneis y rocas ígneas como el granito que actúan también como barreras subterráneas. A las márgenes de la corriente principal cerca del sitio de proyecto existen rocas sedimentarias como limolitas, areniscas y conglomerados plegados y bien consolidados considerados con baja permeabilidad sin posibilidad de formar acuíferos.

12.2. Material no consolidado con posibilidades medias

Localizado una parte a margen izquierda de la corriente principal, cerca del sitio de proyecto y otra proporción más pequeña en la parte central de la cuenca, formadas principalmente por rocas sedimentarias y volcanosedimentarias del tipo del conglomerado con granulometría heterogénea, con grados variables de compactación y cementación, características que influyen para que la unidad presente una permeabilidad media.

12.3. Material no consolidado con posibilidades altas

Se localiza a lo largo de la corriente principal primordialmente en su margen derecha. También se encuentra localizada una franja ancha en la parte central de la cuenca. Las cuales en su mayoría son formaciones de valles originados por fases tectónicas que fueron rellenados por depósitos aluviales de granulometría muy heterogénea, dispuestos en capas irregulares de forma lenticular, con interdigitaciones de conglomerados y areniscas finas y gruesas, que se encuentran, moderadamente compactas y pobremente cementadas, características que permiten suponer de una forma cualitativa que se tiene una permeabilidad alta.