

Análisis de Estabilidad de Cauces en ríos de montaña empleando el método químico

Stability Analysis Cauces in mountain rivers using the chemical method

Mogollón, David^{1*}; Sánchez, Engelber²

¹Departamento de Ingeniería Hidráulica y Medio Ambiente. Universidad Politécnica de Valencia
Valencia, España.

²Departamento de Vías. Facultad de Ingeniería. Universidad de Los Andes
Mérida, Venezuela

* dj89mogo@gmail.com

Resumen

El estudio se basó en medir el caudal de La Mucuy Alta por medio del aforo químico, por tratarse de un río de montaña, determinando los cloruros presentes en las muestras de agua a través del método argentométrico. La curva de caudales se ajustó a lo largo de siete puntos. Matemáticamente, fue posible la correlación entre las dos subcuencas en estudio, donde se pudo comprobar una clara relación entre el caudal correspondiente a cada subcuenca con respecto al caudal total. Finalmente, se estudiaron las características de estabilidad del río: para un caudal de 2.999 m³/s, el río tiene una pendiente estable del 0.43 %, a la que corresponde un ancho estable de 4.06 m y una profundidad de 0.52 m, aproximadamente. Los resultados muestran que, existe una gran diferencia entre la pendiente física y la pendiente estable, indicando que, el río buscará la estabilidad, formando meandros, a fin de reducir su pendiente.

Descriptor: cuenca, aforo químico, caudal, estabilidad de cauce, curva de caudales.

Abstract

The study was based on measuring the flow of La Mucuy Alta by means of chemical measurement, because it is a mountain river, determining the chlorides present in the water samples through argentometric method. The flow curve was adjusted along seven points. Mathematically, it was possible the correlation the two sub-basins under study, where it was checked a clear relationship between the flow corresponding to each sub-basin with respect to the total flow. Lastly, were studied the stability characteristics of the river: for a flow of 105.908 ft³/s, the river has a stable slope of 0.43%, to which corresponds a stable width of 13.32 ft and a depth of 1.706 ft, about. The results shows that, there is a large difference between the physical slope and the stable slope, indicating that, the river will seek stability, forming meanders, in order to reduce its slope.

Descriptors: watershed, chemical measurement, caudal, stability of riverbed, flows curve.

1 Introducción

En su necesidad de expandirse como sociedad, el hombre ha intervenido el medio ambiente, abarcando los escenarios fluviales. Esta mediación ha traído como corolario una alteración de las condiciones naturales de los cursos de agua.

Cuando estos cambios, de tipo antropogénicos, se dan en relieves montañosos, puede ocurrir un significativo arrastre de material grueso, como cantos rodados, poniendo así en evidencia una eventual modificación del cauce de la corriente de agua, bien sea por pendiente, ancho o profundidad. En cualquier caso, el río debe alcanzar su nueva condición de equilibrio.

Debido al desorden en las líneas de flujo, el caudal de los cursos de agua por travesías montañosas, suele medirse por el llamado método químico.

El aforo químico (Diez y col., 1956), se aplica preferiblemente en los casos de ríos turbulentos y de perfil tan irregular en las secciones de aforo.

“Si en una sección del río que se quiere aforar se inyecta una solución concentrada de una sal y aguas abajo se toman muestras para determinar la concentración del río en la misma sal, es posible calcular el gasto del río mediante una fórmula sencilla en que intervienen únicamente la concentración de la solución inyectada aguas arriba, la concentración del río aguas abajo y el gasto de la solución concentrada, que se supone inyectada mediante un dispositivo de gasto constante” (op. cit.).

El procedimiento experimental consiste en determinar los cloruros presentes en las muestras de agua a través del método argentométrico.

Al punto de análisis convergen dos quebradas principales denominadas El Loro (afluente 1) y La Coromoto (afluente 2) respectivamente. La presencia de fuertes pendientes y materiales de gran tamaño como gravas y cantos rodados se hacen notar en cada una de las subcuencas.

En varias ocasiones, la totalidad del caudal de ambas quebradas en estudio, han registrado comportamientos bruscos, hasta 15 m³/s para un año de medición, es decir, 33 veces más que su caudal más bajo, 0.45 m³/s, para ese mismo año. (C.I.D.I.A.T., 2006).

Por tal motivo, es imprescindible un estudio de las características de estabilidad del cauce, introduciendo para ello la teoría de régimen. En los ríos de montaña se recomienda utilizar el método de Altunin (Flórez y col., 2006).

2 Marco Referencial

2.1 características físicas de la Cuenca Hidrográfica

Por su sistema de drenaje y conducción final, las cuencas exorréicas (Faustino y col., 2000) son aquellas en donde las vertientes conducen las aguas a un sistema mayor de drenaje como un gran río o mar.

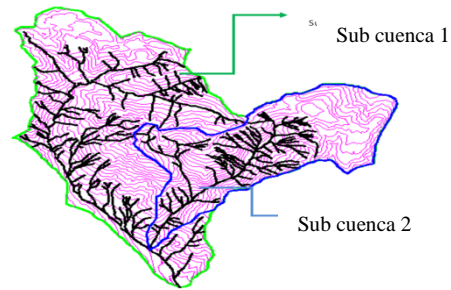


Fig. 1. Cuenca exorréica en el parque La Mucuy

En cuanto a las características físicas de una cuenca hidrográfica (González 2003) pueden mencionarse:

- Área: Es la proyección horizontal de la superficie encerrada por la divisoria de la cuenca vertiente en el punto considerado.

- Índice de Gravelius (K_{cc}): se define como el cociente entre el perímetro de la cuenca y el perímetro del círculo de superficie equivalente. Este parámetro cuantifica la forma de la cuenca.

$$K_{cc} = \frac{\text{Perímetro de la cuenca}}{2 \sqrt{\frac{\text{Área de la Cuenca}}{\pi}}} \quad (1)$$

- Factor de forma (K_f): es la relación entre el ancho medio y la longitud axial de la cuenca. Este parámetro puede indicar la vulnerabilidad a crecientes en la cuenca.

$$K_f = \frac{B}{L} = \frac{A}{L^2} \quad (2)$$

Donde L es la longitud del cauce principal, A y B son el área y el ancho promedio de la cuenca respectivamente.

- Densidad de drenaje (D_d): Es la relación entre la longitud total de los cursos de agua de la cuenca, L_t , y el área de la cuenca, A. Este valor indica la capacidad de drenaje de la cuenca en en km/km².

$$D_d = \frac{L_t}{A} \quad (3)$$

- Extensión media de la escorrentía superficial (I): Es la distancia media en la que, el agua de lluvia tendría que escurrir sobre los terrenos de la cuenca en el caso de que la escorrentía se diese en línea recta desde el punto de caída de la lluvia hasta el curso de agua más cercano.

$$I = \frac{A}{L_t} \quad (4)$$

- Sinuosidad de las corrientes (S): Es la relación entre la longitud del río principal, medida a lo largo del cauce, L, y la longitud del valle en línea recta o curva, L_v .

$$S = \frac{L}{L_v} \quad (5)$$

en efecto a las definiciones anteriores, se muestra en la tabla 1 el resultado de las características físicas de la hoya en estudio.

Tabla 1. Características físicas de los afluentes 1 y 2

Sub cuenca	1	2
Perímetro (Km)	35.280	29.050
Área (Km ²)	41.940	27.750
Longitud axial (Km)	11.250	8.800
Longitud del cauce principal (Km)	15.420	9.100
Longitud del valle (Km)	11.490	9.120
Longitud total de los cursos de agua (Km)	95.990	66.560
Kc	1.540	1.590
Kf	0.330	0.360
Dd (Km/Km ²)	2.290	2.400
S	1.340	0.998

La pendiente del cauce principal, se puede determinar por medio de la pendiente equivalente constante, S_3 , que es la pendiente de un canal de sección transversal uniforme de la misma longitud del cauce principal y que posee la misma velocidad media o tiempo de recorrido que el cauce principal. Éste método (ecuación 6), es el más recomendado ya que toma en cuenta las distintas pendientes del cauce principal en el tramo en estudio (op. cit.).

$$S_3 = \left[\frac{\sum_1^N L_i}{\sum_1^N \sqrt{S_i}} \right]^2 \quad (6)$$

L es la longitud del cauce principal (km), L_i son las longitudes de los n tramos del cauce principal considerados y S_i son las pendientes de dichos tramos.

Siguiendo el procedimiento de la ecuación 6, la sub-cuenca 1 tiene una pendiente S_3 de 11.70% y la sub-cuenca 2, una pendiente S_3 de 17.90%.

2.2 Aforo químico de un río

Para aforar ríos de montaña con velocidades elevadas, se aplica el aforo químico, el cual consiste en inyectar un caudal constante Q_1 de una solución salina de concentración C_1 conocida y aguas abajo se mide la concentración C_2 , a una distancia no menor de 200 m para que así garantice una mezcla homogénea, ni mayor de 400 m, debido a que el trazador empleado tiende a diluirse a grandes distancias y entonces no sería posible determinar con exactitud las concentraciones (Ramírez 1999).

También es necesario establecer la concentración de sal inicialmente presente en el río, C_0 . Si ésta fuera excesivamente elevada, debe cambiarse la sustancia trazadora. Aplicando el principio de conservación de masa, se tiene: $Q_0 * C_0 + Q_1 * C_1 = (Q_0 + Q_1) C_2$. De donde,

$$Q_0 = Q_1 \times \frac{(C_1 - C_2)}{(C_2 - C_0)} \quad (7)$$

El aforo químico (Rocha, 2001), establece un régimen

permanente de caudal, de la disolución concentrada sobre el caudal del río, donde la sustancia empleada como trazador se diluye en gran medida, generando una nube elemental que se extenderá en forma similar a semiesferas concéntricas cortadas por la superficie y hacia el fondo. En estos círculos, la intensidad del color irá siendo cada vez más débil por causa de la dispersión, hasta que finalmente ante la sensibilidad visual desaparezca.

El trazador se inyecta en una sección dada con un caudal constante y una concentración C_1 , tal como se indica en la figura 2 y donde se supone que el flujo es permanente.

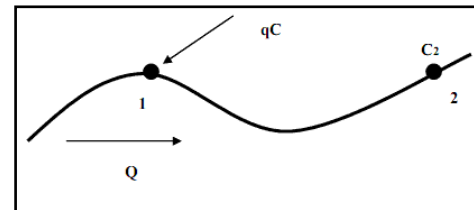


Fig. 2. Inyección a caudal constante

El trazador empleado en esta investigación fue el cloruro de sodio NaCl. Este se inyecta en la corriente, y su detección "in situ" por el método de conductividad es relativamente sencillo.

La condición fundamental que se debe cumplir para el emplazamiento de un aforo químico, es que se produzca una mezcla homogénea de la solución inyectada en el agua de la corriente en un tramo relativamente corto. La mezcla necesita verse mejorada por las rugosidades del canal y la presencia de cantos rodados que aumentan la turbulencia de la corriente, tales como cascadas y estrangulamientos abruptos en el cauce.

Las aguas tienen contenidos muy variables de cloruros, dependiendo de las características de los terrenos que atraviesan, pero en todo caso, esa cantidad es menor a las encontradas en las aguas residuales, ya que, el cloruro de sodio es común en la dieta y pasa inalterado a través del aparato digestivo. Para determinar esta variable, puede aplicarse el método argentométrico por medio de:

$$mg \text{ Cl/L} = \frac{(A-B) \cdot N \cdot 35450}{ml_{muestra}} \quad (8)$$

En donde:

A: ml del titulante gastado en la titulación de la muestra

B: ml del titulante gastado en la titulación del blanco

N: normalidad del titulante, $AgNO_3$

2.3 Estabilidad de cauces

La teoría de régimen (Rivas, 1999) tiene aplicación en el diseño y construcción de canales sin revestir y en la predicción de cambios en la pendiente y/o en la geometría de un río cuando alguna de sus características o afluentes cambian.

Los Grados de Libertad son las posibilidades de movi-

mientos de un cauce. En los flujos con dos grados de libertad, se presenta transporte de sedimentos y tanto la profundidad como la pendiente pueden variar. Por lo tanto, son necesarias dos ecuaciones. En los flujos con tres grados de libertad, el material de los márgenes es erosionable, por lo tanto, además del transporte de material, la profundidad, la pendiente y el ancho pueden variar. Son necesarias tres ecuaciones para definir las características. (Gómez 2014).

Se debe tomar en cuenta el cuarto grado de libertad, ya que un río tiende a formar meandros cuando su pendiente de estabilidad es menor que la pendiente general del valle.

3 Procedimiento Experimental

3.1 Obtención de las muestras con distintas concentraciones

El recipiente de forma cilíndrica para mezclar esta concentración tiene un volumen de 130 litros, y el caudal de inyección es 0.40 lt/s correspondiente a la potencia de una bomba de ¼ HP. El volumen del recipiente de prueba fue 10 litros y el tiempo empleado, 25 seg.

Para un caudal < 15 m³/seg, se recomienda utilizar una concentración de 0.125 Kg/lt. Por lo tanto, la cantidad de NaCl empleada para un aforo de caudal es de 16.5 Kg.

Posteriormente se preparó la solución indicadora con un colorante vegetal de color rojo, tomando una muestra inicial en el cauce, concentración C₀, y una muestra del recipiente que contiene la solución salina para la concentración C₁. La inyección del caudal de concentración inicial se hace al mismo tiempo que un operador introduce la solución indicadora al río.

La última muestra corresponde al caudal, de color rojo en este caso, que atraviesa la línea de toma aguas abajo, a unos 80 metros de la línea de inyección. Esta sería la concentración C₂.

3.2 Determinación del caudal por el método argentométrico

El procedimiento de ensayo se basa en la formación de cromato de plata de color rojizo; esto ocurre cuando se adicionan al agua iones de cromato como indicador, e iones de plata como reactivo precipitante.

Al finalizar el ensayo, se procede a determinar la concentración de cloruros en el agua, expresada mg/L.

Para determinar los contenidos de cloruros en las distintas concentraciones, se empleó el método argentométrico a través de las siguientes etapas:

- Se estandariza el nitrato de plata con una solución estándar de cloruro de sodio, aplicando la siguiente ecuación

$$\text{AgNO}_3 = \frac{N_1 \times V_1}{V_2} = \frac{0.02 N \times 50 \text{ ml}}{50 \text{ ml}} = 0.02 N$$

V₁ y V₂ son, respectivamente, el volumen de solución estándar de cloruro de sodio y el volumen de nitrato de plata empleado en la titulación.

- Se obtiene la concentración de cloruros presentes en el agua aplicando la ecuación 8, tomando en cuenta que el pH de las muestras debe permanecer entre 7 y 10. Los siguientes datos corresponden al primer aforo

Tabla 2. MI consumidos en la titulación de la muestra, A

C ₀	C ₁	C ₂ (1)	C ₂ (2)	C ₂ (3)
0.85	1.00	1.00	1.20	1.00

Los mililitros consumidos en la titulación del blanco fueron 0.80 para todas las concentraciones.

Tabla 3. Cloruros en las distintas concentraciones (mg/L)

C ₀	C ₁	C ₂ (1)	C ₂ (2)	C ₂ (3)	C ₂ promedio
0.71	2.84	2.84	5.67	2.84	3.78

- Cálculo del caudal por medio de la ecuación 7, y para un caudal constante Q₁ de 0.4 l/s

La tabla 4 resume el resultado de los caudales obtenidos por el método del aforo diluido con su respectiva altura de agua.

Tabla 4. Caudales obtenidos para las sub cuencas bajo estudio

Punto	Mes del aforo	Caudal (m ³ /seg)	Altura (cm)
1	Julio	3.70	58
2	Septiembre	3.16	55
3	Octubre	2.88	50
4	Noviembre	2.99	53
5	Diciembre	3.41	56
6	Enero	1.22	41
7	Febrero	0.50	35

3.3 Características de estabilidad del cauce

Al aplicar el método de Altunin, se pueden seguir los siguientes pasos:

- Estimar el caudal formativo asumiendo un caudal medio que se consideró normal, entre aquellos medidos en el río, y fue de 2.999 m³/seg al que le corresponde una profundidad normal de 53 cm.
- Al suponer el orden de magnitud de la profundidad normal Y_n ≤ 1.50 m, se definió que el valor del coeficiente α es 1/3.
- En base al diámetro medio del material de fondo, y según la tabla de *velocidades máximas no erosionables*, se obtuvo que V_φ = 1.605 m/s.

- Al calcular el exponente E, necesario para conocer la pendiente de estabilidad, donde $z=1/2$ y $x=1/3$, resulta que E igual a 0.48
- La pendiente de estabilidad S obtenida según Altunin para ríos montañosos es igual a 0.0043, es decir, 0.43%.
- Para la profundidad normal de estabilidad Y_n , Altunin propone Cr de 11. Por lo tanto, $Y_n = 0.52$ m.
- Al comprobar la profundidad normal, se determina finalmente el ancho estable T, resultando 4.06 metros.

La tabla 5 resume las condiciones actuales y estables, estableciendo una comparación entre ellas en cuanto a estabilidad.

Tabla 5. Resumen de la estabilidad del río La Mucuy según Altunin

Parámetro	Condición actual	Condición estable	¿Posee estabilidad?
Profundidad (m)	0.53	0.52	Si
Ancho (m)	4.00	4.06	Si
Pendiente (%)	11.7 y 17.9	0.43	No

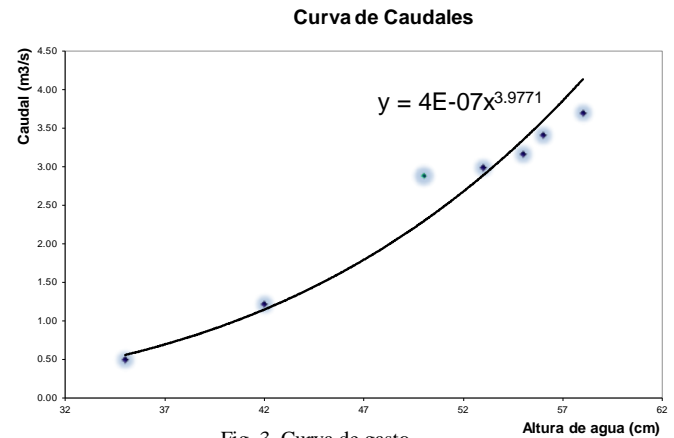
4 Análisis de resultados

4.1 comportamiento físico de la hoya hidráulica

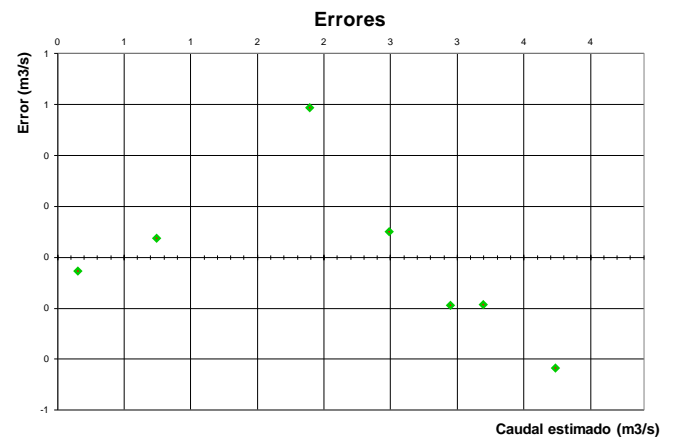
- El índice de Gravelius, mayor que 1, indica un mayor alargamiento en la forma de la cuenca, es decir un ensanchamiento en el extremo superior, definida por la sub cuenca 2, tal como lo indica la figura 1.
- Como la cuenca esta formada por dos quebradas importantes, se consideró la longitud mayor entre ellas para el factor de forma, definiendo así a la cuenca como ligeramente alargada.
- Para la densidad de drenaje, fue necesario la sumatoria de longitudes todos los ramales de agua encerrados dentro de la cuenca, este parámetro por encontrarse mas cercano a 3 Km/Km² que a 1 Km/Km², indica que las sub cuencas presentan un buen drenaje.
- Existe una diferencia considerable entre las pendientes e índice de sinuosidad de ambas quebradas, la quebrada 2 es mas pronunciada y poco uniforme en un gran porcentaje de su longitud, lo que también indica una mayor velocidad de agua en relación a la quebrada 1. En ambas sub cuencas existe un comportamiento hidráulico distinto.

4.2 Curva de gasto

El tipo de modelo o función matemática que relaciona las dos variables puede ser, en principio, cualquiera, pero una vez graficados los puntos se observa que la función potencial mostrada en la figura 3, es la más adecuada, ya que cuando el nivel del agua sea cero el caudal debe ser nulo.



Las dos variables de la figura 3 necesitan estar relacionadas, por lo que se puede validar su modelo matemático no lineal, al graficar el error contra el Caudal estimado. En este caso, lo ideal es que no se presente ningún patrón definido.



En este análisis se rechaza la hipótesis nula ($H_0: \beta_0=0$), lo que significa que el caudal si está relacionado con la altura del nivel del agua, por medio de la ecuación:

$$Q = 0.0000004 \times H^{3.9771}$$

Donde el gasto Q, es en metros cúbicos por segundo y la altura del nivel del agua H, en centímetros.

4.3 Correlación de gastos: Sub cuenca 1 y caudal total

Se buscó establecer la correlación entre los caudales correspondientes a cada sub cuenca y el caudal total. Comenzando con la sub cuenca 1, se obtuvo la siguiente ecuación:

$$Y = 0.4679X + 197.87$$

Donde Y es el caudal correspondiente a la quebrada 1 y X el caudal total. Esta ecuación permite estimar el caudal total con solo tener como información el caudal en la sub cuenca 1, donde el gasto debe ser menor o igual al caudal

total. Para valores bajos de caudales, menores a $0.35 \text{ m}^3/\text{s}$ del caudal total, la ecuación no es confiable.

La figura 5 muestra el ajuste a una ecuación lineal, validada por medio del método de mínimos cuadrados obteniendo como resultado un valor del coeficiente de determinación de 0.9962, sin que se detectara presencia de valores atípicos, además de rechazar la hipótesis nula, lo que verifica un excelente ajuste para estas dos variables. También puede comprobarse al observar el patrón indefinido de la figura 6.

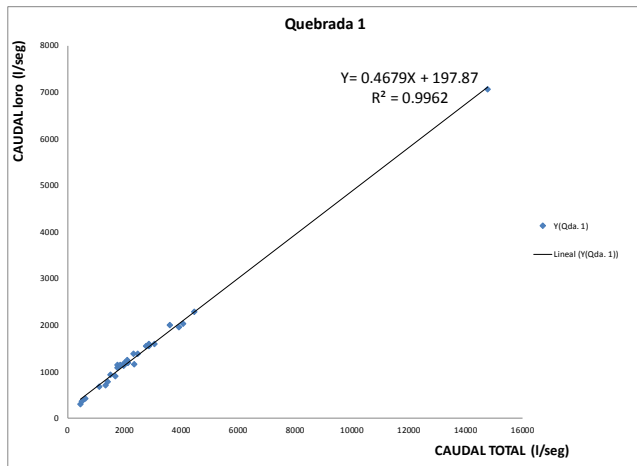


Fig. 5. Correlacion lineal Caudal Total Vs. Caudal 1

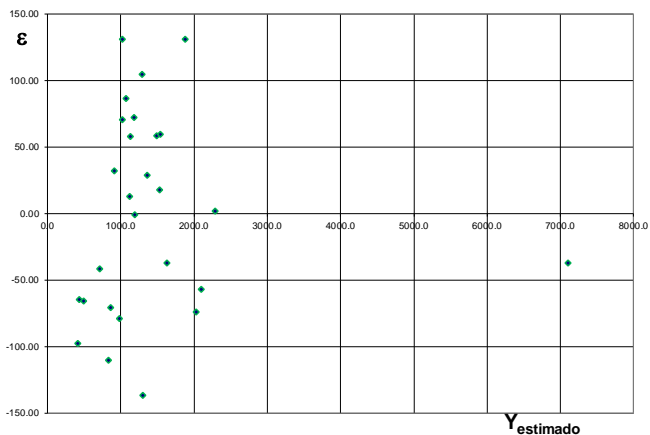


Fig. 6. Patrón indefinido entre el Error Versus Caudal estimado

4.4 Correlación de gastos: Sub cuenca 2 y caudal total

Al correlacionar los caudales correspondientes a la quebrada 2 contra el caudal total, se obtuvo como resultado la siguiente ecuación:

$$Y = 0.5321X - 197.87$$

En este caso Y sería el caudal correspondiente a la sub cuenca 2 y X el caudal total. Esta ecuación es más representativa que la anterior, figura 7, ya que en ningún momento en caudal de esta quebrada sería mayor al caudal total (su-

ma del caudal de las dos sub cuencas).

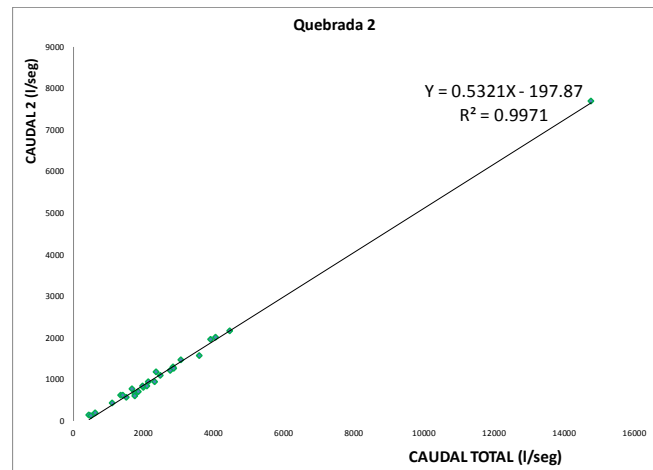


Fig. 7. Correlacion lineal Caudal Total Vs. Caudal 2

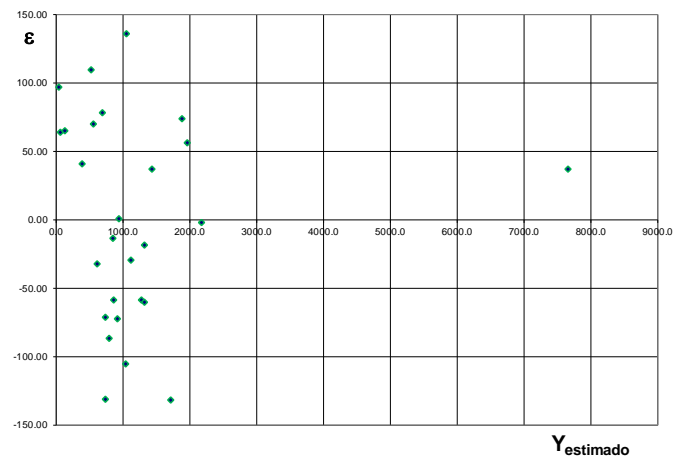


Fig. 8. Patrón indefinido entre el Error Versus Caudal estimado

Este último ajuste también fue verificado por medio del método de mínimos cuadrados obteniendo resultados muy satisfactorios, ya que se rechazó la hipótesis nula, no se encontraron valores anómalos y se obtuvo un coeficiente de determinación de 0.9971, lo que indica un ajuste casi perfecto. De forma análoga a la sub cuenca 1, esta quebrada presenta un patrón de desordenado, indicando que las variables se encuentran relacionadas. (ver figura 8).

4.5 Análisis de estabilidad

Al analizar los resultados de la tabla 5 se observa que, si bien la profundidad y el ancho del cauce coinciden con los valores de estabilidad, existe una gran diferencia en cuanto a la pendiente física y la pendiente estable. Esto indica que el río buscará la estabilidad formando meandros a fin de reducir la pendiente.

5 Conclusiones

El método químico ahorra la necesidad de estimar el radio hidráulico, que en ríos de montaña resulta casi imposible. Por otra parte, y aunque solo se pudieron definir siete puntos en la curva de gastos, se lograron medir caudales correspondientes tanto a invierno como a verano, con lo cual se cubre razonablemente bien los dos extremos de dicha curva de gastos.

Al momento de determinar la cantidad de cloruros presente en las muestras, se aplicó el método argentométrico, ya que existe muy poco transporte de sedimentos en suspensión, lo que resulta ventajoso, puesto que, en dicho método se utilizan reactivos de mayor accesibilidad.

Se verificó la validez del ajuste de todas las ecuaciones por medio del método de los mínimos cuadrados, obteniéndose valores altos del coeficiente de determinación en todos los casos. Estas ecuaciones permitirán, conocido el caudal de una de las sub cuencas, estimar el de la otra sub cuenca, o en función del caudal total encontrar el individual.

En relación a la estabilidad, se puede concluir que, tanto en el ancho como en la profundidad, las condiciones reales coinciden con las de estabilidad del cauce, pero esto no sucede con la pendiente, ya que ésta resultó ser muy inferior a la pendiente real del cauce. Esto implica, sin duda alguna, que el río va a presentar tendencia a formar meandros en un futuro, a fin de ajustar la pendiente topográfica a la pendiente de condición estable; en algún momento el río buscará su estabilidad, posiblemente con la erosión lateral o con la formación de meandros, ya que el material del fondo es muy grueso y probablemente no permite mayor socavación.

Referencias

- Bateman 2007, Hidrología básica y aplicada, GITS UPC, Barcelona, España.
- CIDIAT 2006, Aforos semanales generados por el método de aforo directo o de dilución química para el río La Mucuy Alta, Universidad de Los Andes, Mérida.
- Diez L, Campero M, 1956, Aforo químico de ríos, IDIEM, pp. 150-167.
- Faustino J, Jiménez, F, 2000, Manejo de cuencas hidrográficas, Centro agronómico tropical de investigación y enseñanza, Área de cuencas y sistemas agroforestales, Turrialba, Costa Rica.
- Flórez I, Aguirre J, 2006, Hidráulica fluvial, Universidad de Los Andes, Mérida, Venezuela.
- Gómez CA, 2014, Introducción a la Hidráulica fluvial, Universidad de La Salle, Bogotá, Colombia.
- González A, 2003, Apuntes de Hidrología, 2º curso de Ingeniería técnica en obras públicas, Universidad del país Vasco, pp. 19.
- Martín JP, 2002, Ingeniería de ríos, Universidad Politécnica de Catalunya, Barcelona, España.
- NMX-AA-073-1981, Norma Mexicana de Análisis de agua, determinación de cloruros totales en aguas naturales, resi-

duales y residuales tratadas.

Ramírez M, 1999, Hidrología aplicada, Universidad de Los Andes, Mérida, Venezuela.

Rivas FM, 1999, Estudio de anchos estables en ríos de montaña, Tesis para optar al grado de Magister Scientiae en Obras hidráulicas, Centro Interamericano de Desarrollo e Investigación Ambiental y Territorial, Venezuela.

Rocha JC, 2001, Obras hidráulica I, Universidad Mayor de San Simón, Cochabamba, Bolivia.

Salcedo VX, 2008, Estudio del uso de un radiotrazador en el análisis del comportamiento dinámico del agua de inyección en un campo del oriente ecuatoriano, Tesis Ingeniero en Petróleos, Escuela Politécnica Nacional de Quito, Facultad de Ingeniería en Geología y Petróleos, Quito, Ecuador.

Sheng TC, 1992, Manual de campo para la ordenación de cuencas hidrográficas. Estudio y planificación de cuencas hidrográficas. Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación. Guía FAO Conservación 13/6. Roma, Italia. 185 p.

Recibido: 25 de octubre de 2017

Aceptado: 23 de abril de 2018

Mogollón, David: MSc en Ingeniería Hidráulica y Medio Ambiente, Universidad Politécnica de Valencia. España.

Sánchez, Engelber: MSc en Ingeniería Vial, Profesor adscrito al Departamento de Vías de la Facultad de Ingeniería de la Universidad de los Andes. Correo electrónico: engelbers@ula.ve

