

# Correlation between the Manning roughness coefficient and the representative diameter of the drag material in high mountain river beds, Cajamarca – Peru

Luis Vásquez-Ramírez \* , Nelson Burgos-Flores 

*Escuela de Ingeniería Hidráulica, Facultad de Ingeniería, Universidad Nacional de Cajamarca, Cajamarca, Perú*

 <https://doi.org/10.54139/revinguc.v28i2.25>

**Abstract.-** The choice of the Manning roughness coefficient is essential when determining a flow rate and thereby performing a hydrological and hydraulic modeling to later design a hydraulic structure. In general, it is very difficult to choose the Manning roughness coefficient due to the variability of the sediments that make up the bed of a natural channel such as a river, since in the absence of field data, very given in tables, which causes some uncertainty in the hydraulic designs and modeling carried out. Therefore, the objective of this work was to find the correlation between the Manning roughness coefficient and the representative diameter of the gravelly sand material that constitutes the channel of the Chonta River, located in the Andean zone of Peru. Speed and depth measurements were made, using a hydrometric windlass, as well as sedimentological sampling in the river bed in order to obtain numerical values of the Manning roughness coefficient ( $n$ ) in the field. After the field and laboratory stages, the following equations were found:  $n = 0,0438 \cdot k^{(1/6)}$  and  $n = 0,2399 \cdot k^2 - 0,0083 \cdot k + 0,0276$ , where  $n$  is the Manning roughness coefficient and  $k$  corresponds to the representative diameter of the river bed, whose value has been determined in the field by means of a granulometric analysis and corresponds to diameter 30 ( $d_{30}$ ).

**Keywords:** river bed; hydraulic radius; roughness height; Manning roughness coefficient.

## Correlación entre el coeficiente de rugosidad de Manning y el diámetro representativo del material de arrastre en lechos de ríos de alta montaña, Cajamarca - Perú

**Resumen.-** La elección del coeficiente de rugosidad de Manning es fundamental al momento de determinar un caudal y con ello realizar un modelamiento hidrológico, e hidráulico para luego diseñar una estructura hidráulica. En general se tiene una gran dificultad para elegir el coeficiente de rugosidad de Manning ( $n$ ) debido a la variabilidad de los sedimentos que componen el lecho de un cauce natural como es un río, pues a falta de datos de campo, casi siempre se recurre a valores muy generales dados en tablas, lo que origina cierta incertidumbre en los diseños y modelamientos hidráulicos realizados. Por lo que el objetivo de este trabajo fue encontrar la correlación entre el coeficiente de rugosidad de Manning y el diámetro representativo del material arenoso que constituye el cauce del río Chonta, ubicado en la zona andina del Perú. Se realizaron mediciones de velocidad y profundidad, empleando un molinete hidrométrico, así como el muestreo sedimentológico en el lecho del río a efecto de obtener en campo valores numéricos del coeficiente de rugosidad de Manning. Culminadas las etapas de campo y laboratorio se encontraron las siguientes ecuaciones:  $n = 0,0438 \cdot k^{(1/6)}$  y  $n = 0,2399 \cdot k^2 - 0,0083 \cdot k + 0,0276$ , donde  $n$  es el coeficiente de rugosidad de Manning y  $k$  corresponde al diámetro representativo del lecho del río, cuyo valor ha sido determinado en campo mediante un análisis granulométrico y corresponde al diámetro 30 ( $d_{30}$ ).

**Palabras clave:** lecho de río; radio hidráulico; altura de rugosidades; coeficiente de rugosidad de Manning.

Recibido: 23 de julio, 2021.

Aceptado: 12 de agosto, 2021.

### 1. Introducción

En el mundo, uno de los problemas a los que se enfrenta el ingeniero es la elección del coeficiente de rugosidad de Manning; para concretizar el diseño hidráulico de elementos que trabajan a lámina libre, pues en su quehacer

\* Autor para correspondencia:  
Correo-e: [lvasquez@unc.edu.pe](mailto:lvasquez@unc.edu.pe) (L. Vásquez-Ramírez)

diario encuentra muchas situaciones de cálculo y modelamiento hidráulico donde el coeficiente de rugosidad de Manning ( $n$ ) es un parámetro fundamental en el cálculo, el cuál debido a la falta de una metodología específica del lugar, en muchos casos debe ser estimado en forma muy general, lo que conlleva a resultados no convincentes. Para Mohanta [1], la estimación del coeficiente de rugosidad de Manning es uno de los factores esenciales para predecir la descarga en un arroyo, en ese sentido Fernández *et.al* [2], indica que el coeficiente ( $n$ ) es una de las formas de expresar la cantidad de resistencia al movimiento del agua en cauces, naturales o artificiales. Este coeficiente de resistencia al flujo es muy variable porque depende de una serie de factores como: la vegetación, irregularidad, obstrucciones, nivel, caudal, régimen de circulación, entre otros; de igual forma Attari [3], señalan que el análisis de caudales inestables en ríos naturales es muy complicado, e identifican que uno de los factores más importantes que causa errores en el cálculo de la profundidad del flujo y la descarga es la incapacidad de estimar con precisión los valores de ( $n$ ) para las secciones transversales y longitudinales del río.

Yeon, Yun, & Choo, indican que el coeficiente de rugosidad de Manning es uno de los parámetros más importantes para establecer el plan, diseño, operación y mantenimiento de los proyectos de recursos hídricos en la ingeniería hidráulica [4], es así que investigadores como Habibi, Namaee, & Saneie, [5], enfocan sus investigaciones al problema de predecir la resistencia al flujo en canales aluviales de alto gradiente, con suficiente precisión, lo que es esencial para el diseño efectivo de proyectos relacionados con los recursos hídricos; De Doncker, *et al.* [6], orientan su investigación a la variación de la rugosidad del lecho del canal en dos ríos, como parámetro importante en el modelado hidráulico, especialmente con respecto al control de inundaciones; Ding, [7], presentan un método numérico basado en teorías de control óptimo para identificar los coeficientes de rugosidad de Manning en el modelado de flujos de aguas poco profundas; Habibi, Namaee, & Saneie [5], proponen una ecuación para predecir la resistencia

al flujo en ríos escarpados, a partir del coeficiente de rugosidad de Manning, la velocidad de flujo media y el coeficiente de rugosidad de Darcy-Weisbach.

Para Kumar [8], el coeficiente de rugosidad se considera el parámetro más sensible en el desarrollo de modelos hidráulicos para pronóstico de inundaciones y mapeo de inundaciones. Debido a la falta de disponibilidad del coeficiente de rugosidad para muchos tipos de superficies se hace necesario estimarlos tomando en cuenta sus propias características físicas y de flujo, en tal sentido Dyakonova [9], inciden en la importancia de la descripción correcta de la dinámica del agua superficial, para ello trabajaron en un modelo de aguas poco profundas, en el que concluyeron que se requiere tener en cuenta la fricción como base para determinar el coeficiente de Manning que se constituye como un parámetro integral que explica una gran cantidad de factores físicos que determinan el frenado por flujo. Concordantemente Teixeira *et.al* [10], destacan que el coeficiente de rugosidad de Manning se utiliza para varios modelos hidráulicos. Sin embargo, la decisión sobre qué valor adoptar es una tarea compleja, especialmente cuando se trata de cursos de agua naturales debido a los diversos factores que inciden en este coeficiente. Por esta razón, la mayoría de los estudios realizados sobre el tema deben adoptar un enfoque local

Por ello, muchos investigadores han concentrado sus esfuerzos en los factores que afectan la rugosidad de Manning, pues Yeon [4], Pradhan [11], Yang [12], Mohammadi [13], De Doncker *et al.* [6], coinciden en que se debe desarrollar ecuaciones que permitan estimar este coeficiente para canales naturales que funcionan bajo condiciones de similitud de sus factores tanto geométricos como hidráulicos tales como: la profundidad relativa del flujo, la relación de ancho, la pendiente del lecho y la sinuosidad para un canal compuesto sinuoso, tipos de corrientes, concentración de sedimentos como piedra, grava, arenas y finos; ya que la cuantificación del coeficiente de rugosidad es objetiva siempre y cuando se cuantifiquen correctamente dichos factores.

Con el pasar de los años surgen muchas

metodologías que apuntan a mejorar la precisión en el cálculo de este coeficiente, cuyos resultados confluyen hacia una misma conclusión, como es el caso de Ye [14], De Doncker *et al.* [6], Ding [7], que en sus investigaciones concluyen que los coeficientes de rugosidad de Manning son difíciles de determinar, puesto que no es una constante ya que cambian dinámicamente con cambios en la profundidad del agua, la vegetación y el movimiento del lecho tanto espacial como temporalmente, debido a esta variabilidad de los factores en un mismo curso natural para diferentes condiciones de flujo; Papaioannou [15], introducen el criterio de ajuste a las distribuciones de probabilidad teóricas y evalúan según su precisión para representar los valores de rugosidad estimados. Por otro lado, Mohanta [1], plantean para la predicción del coeficiente  $n$  de Manning en los canales compuestos serpenteantes, el uso del enfoque del método grupal de manejo de datos en redes neuronales (GMDH-NN).

El objetivo de esta investigación está orientado a generar ecuaciones numéricas fundamentadas en la carga teórica existente, contrastados con la realidad para estimar el coeficiente de rugosidad de Manning, en ríos con características propias de cuencas altoandinas de alta montaña, relacionando la velocidad de flujo, características geométricas de la sección transversal y el diámetro representativo del sedimento que constituye su lecho no cohesivo; pues la metodología está aplicada al río Chonta, perteneciente a la cuenca del río Crisnejas afluente del río Marañón en la sierra norte de los andes peruanos. La longitud estudiada está compuesta de 9.500 metros de tramos rectos y 5.000 metros de tramos en curva.

## 2. Materiales y Métodos

La investigación fue planteada para desarrollar procesos tendientes a cuantificar en campo las variables más incidentes en la determinación del coeficiente de rugosidad de Manning.

### Localización

La investigación fue desarrollada en la subcuenca altoandina del río Chonta, perteneciente a la

cuenca del río Crisnejas - Perú, los tramos en estudios inician en las coordenadas 779731,46 m. E, 9207454,70 m. N, 2661 m s.n.m., finalizando en las coordenadas 787212,80 m. E, 9215967,23 m. N, 2902 m s.n.m., en el distrito de Baños del Inca, Cajamarca – Perú. La ubicación de los tramos en estudio se puede observar en la Figura 1.

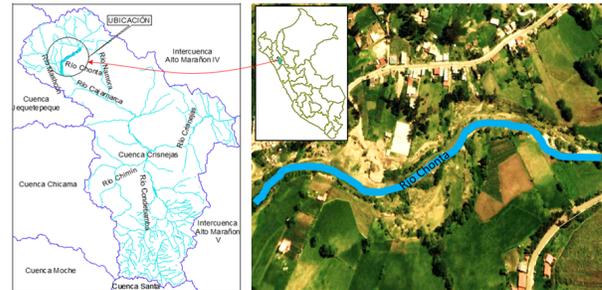


Figura 1: Ubicación geográfica del río Chonta

### Materiales

Se utilizó un molinete OTT y contador OTT.

### Metodología

En la presente investigación se utilizó el método lógico inductivo incompleto, fundamentado en la hidráulica de canales, contrastada *in situ* a partir de la medición directa en campo.

Las fases tanto de campo, como de laboratorio y gabinete convergen en la determinación del coeficiente de rugosidad ( $n$ ), de la fórmula de Manning para canales abiertos, presentada en la ecuación (1).

$$V = \frac{1}{n} R^{(2/3)} \cdot S^{(1/2)} \quad (1)$$

Donde:  $V$  representa la velocidad media,  $R$  radio hidráulico para la sección transversal del canal y  $S$  representa el gradiente hidráulico en el recorrido longitudinal del canal abierto.

La primera fase de la investigación consistió en la identificación y planteamiento de la investigación, a partir de la carga teórica existente. Tomándose como enfoque seleccionado el presentado por Chow [16], quién refiere que, para estimar el coeficiente de rugosidad de Manning, requiere información del radio hidráulico ( $R$ ), la función adimensional  $\phi(R/k)$  y la medida lineal de la

rugosidad ( $k$ ) que estará en función directa de la granulometría del sedimento que compone el lecho del río:

Coefficiente de rugosidad de Manning ( $n$ ):

$$n = \phi(R/k) \cdot k^{(1/6)} \quad (2)$$

Donde

$$\phi(R/k) = \frac{(R/k)^{1/6}}{18 \log(12,2 \cdot R/k)} \quad (3)$$

De las ecuaciones (1) y (2) se deduce que

$$k = \frac{12,2 \cdot R}{10 \left( \frac{R^{1/6}}{18 \cdot n} \right)} \quad (4)$$

La segunda etapa, se realizó en campo iniciando con un recorrido a lo largo de la zona de estudio, donde se seleccionaron los lugares en donde las condiciones del río permitieron realizar mediciones tanto de velocidad y profundidad, como la nivelación topográfica a lo largo del río, cada 100 m aproximadamente, de donde se obtiene el perfil longitudinal del río y con ello la pendiente media representativa del tramo en estudio.

En la Figura 2 se muestra el proceso de campo que se realizó para la medición de velocidades y profundidades al 20 % ( $V_{0,2y}$ ) y al 80 % ( $V_{0,8y}$ ) del tirante medio ( $y$ ) en las secciones de aforo seleccionadas; que para el caso de estudio fueron siete estaciones de aforo, espaciadas cada 2 km aproximadamente. Adicionalmente se recogieron muestras de sedimentos del lecho del río en forma aleatoria para todos los tramos de aforo, hasta una profundidad de 60 cm.

La tercera etapa, se orientó a la caracterización granulométrica en el laboratorio de mecánica de suelos, teniendo como resultado las curvas granulométricas, en cada sección de aforo.

La cuarta etapa, de gabinete, orientada al procesamiento de la información de campo y laboratorio fue materializada a partir de los siguientes procesos:

1) A partir de las mediciones realizadas en campo, se determinaron los coeficientes de rugosidad de manning ( $n$ ) mediante la



Figura 2: Condiciones de flujo de aguas poco profundas en río Chonta

ecuación 5, fundamentada en ley logarítmica de distribución de velocidades y la ecuación de Chezy, conocidos el tirante hidráulico  $y$ , y la relación de velocidades  $x$  ( $V_{0,2y}/V_{0,8y}$ ).

$$n = \frac{(x - 1)y^{1/6}}{5,57(x + 0,95)} \quad (5)$$

- 2) De la data del trabajo de nivelación para cada sección se obtuvo el valor de la pendiente promedio de cada tramo, así como las características geométricas como área ( $A$ ), perímetro mojado ( $P$ ) y radio hidráulico ( $R$ ), para cada sección transversal.
- 3) A partir de la ecuación de Manning, ecuación (1), se determinó en valor del coeficiente de rugosidad de Manning ( $n'$ ), conocido el valor del área de la sección transversal, el radio hidráulico ( $R$ ), la pendiente del lecho para cada una de las secciones de aforo.
- 4) A partir de la ecuación (4), se determinó el valor numérico de la altura de rugosidades ( $k$ ).

Se determinó a qué diámetro corresponde el valor numérico de la altura de rugosidades ( $k$ ) calculado, y el valor numérico de la altura de rugosidades ( $k$ ) muestreado.

- 5) Se determinó mediante la ecuación (3), el valor numérico de la función  $\phi(R/k)$ . Para luego determinar mediante la ecuación (2), una expresión que nos permite determinar el coeficiente de rugosidad de Manning en función de la altura de rugosidades.
- 6) Finalmente se realizó un análisis de regresión entre la altura de rugosidades ( $k$ ) y el coeficiente de rugosidad de Manning ( $n$ ), para observar la influencia de la altura de rugosidades sobre el coeficiente de rugosidad de Manning, determinándose una ecuación que permite estimar el coeficiente de rugosidad en función del diámetro representativo del lecho del río.

### 3. Resultados y Discusión

#### *Ubicación de las secciones de aforo:*

Las estaciones de aforo fueron tomadas entre las coordenadas 779881 E, 9208681 N (estación de aforo E1) y 786574 E, 9215092 N (estación de aforo E7). Cuyas progresivas relativas para las estaciones de aforo E1, E2, E3, E4, E5, E6 y E7 son km. 1+250, 3+250, 5+250, 7+250, 9+250, 11+250, 13+250 respectivamente, cubriendo un total de 14.500 m de longitud de río evaluados.

#### *Coefficientes de rugosidad de Manning ( $n$ ), estimados en campo*

En la Figura 3, se representa la variabilidad del coeficiente de Manning ( $n$ ), estimado a partir de información de obtenida en campo como la profundidad media ( $Y_i$ ), las velocidades al 20 % ( $V_{20y}$ ) y al 80 % ( $V_{80y}$ ) de la profundidad media en cada dovela de la sección transversal, para una estación de aforo típica, generados para cinco caudales de flujo en el cauce del río.

Los valores máximos, mínimos y promedios para las variables: tirante de agua ( $Y_i$ ) y velocidad media de flujo ( $V$ ) que intervienen en la determinación del coeficiente de rugosidad de Manning ( $n$ ), según la

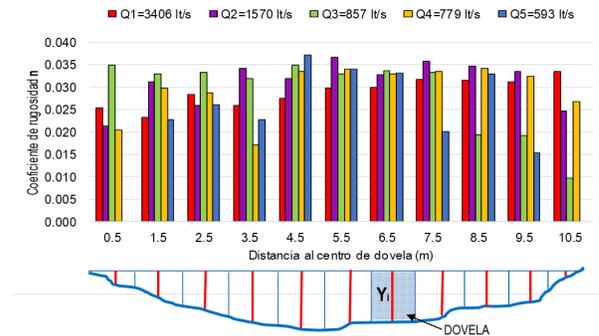


Figura 3: Variabilidad de los coeficientes de rugosidad de Manning para la estación de aforo 5+250

metodología presentada por Chow [16] para cada estación de aforo, se encuentran plasmadas en la Tabla 1.

La Tabla 2, nos muestra los rangos de variación (mínimo y máximo) y el valor promedio del coeficiente de rugosidad de Manning obtenidos a partir de información de campo, los cuales tienen mucha similitud a los valores mostrados en Chow [16] para ríos limpios y rectos que indica un valor promedio de 0,30; y los encontrados por la U.S. Geological Survey, presentados por Coon [17] con valores promedio que van desde 0,024 hasta 0,075; para estimaciones de coeficientes de rugosidad para canales de arroyos naturales seleccionados en Nueva York.

#### *Coefficiente teórico de rugosidad ( $n'$ ), obtenidos a partir de la fórmula de Manning*

Se encontró en esta investigación una pendiente máxima de -2,336 %, una pendiente mínima de -0,701 % y una pendiente promedio de -1,106 %, un coeficiente de rugosidad máximo ( $n'$ ) de 0,2953; un valor mínimo de 0,0436 y un valor promedio de 0,1182. Todos estos resultados se presentan en la Tabla 3.

Los valores encontrados de coeficiente de rugosidad ( $n'$ ) están fuera del rango de valores del coeficiente de rugosidad de Manning para cauces naturales. Como se mencionó antes los valores de coeficiente de rugosidad de Manning varían entre 0,024 hasta 0,075.

Esto se debe a que en este cauce del río natural no se presenta un flujo uniforme, por lo que el

Tabla 1: Profundidades y velocidades en secciones transversales de aforo

Estación de aforo	Tirante ( $Y_i$ ) máximo (cm)	Tirante ( $Y_i$ ) mínimo (cm)	Tirante ( $Y_i$ ) promedio (cm)	Velocidad máxima (m/s)	Velocidad mínima (m/s)	Velocidad promedio (m/s)
E1	54,00	8,00	21,59	1,8	0,14	0,6
E2	59,00	12,00	27,96	1,3	0,12	0,48
E3	75,00	30,00	52,13	0,87	0,03	0,24
E4	64,00	12,00	31,98	1,08	0,04	0,42
E5	65,00	13,00	35,39	2,06	0,09	0,63
E6	78,00	12,00	46,22	1,32	0,07	0,44
E7	65,00	10,00	33,8	0,97	0,09	0,32
Máx./min./promedio	78,00	8,00	35,58	2,06	0,03	0,45

Tabla 2: Relación de velocidades y coeficiente de rugosidad de Manning ( $n$ ), calculado para las estaciones de aforo

Estación de aforo	Relación de velocidades ( $V_{0,2y}/V_{0,8y}$ )			Coeficiente de rugosidad ( $n$ )		
	máxima	mínima	promedio	máximo	mínimo	promedio
E1	1,85	1,2	1,53	0,0444	0,0131	0,0290
E2	1,78	1,14	1,5	0,0401	0,0093	0,0285
E3	1,74	1,14	1,45	0,0432	0,0098	0,0295
E4	1,8	1,17	1,57	0,0427	0,0116	0,0325
E5	1,85	1,28	1,59	0,0495	0,0174	0,0341
E6	1,96	1,07	1,5	0,0642	0,0021	0,0317
E7	1,81	1,19	1,45	0,0417	0,0134	0,0253
máx./min./promedio	1,96	1,07	1,51	0,0642	0,0021	0,0301

Tabla 3: Pendiente ponderada y coeficientes de rugosidad ( $n'$ )

Estación de aforo	Pendiente ponderada (m/m)	Coeficiente de rugosidad ( $n'$ ) – máximo	Coeficiente de rugosidad ( $n'$ ) – mínimo	Coeficiente de rugosidad ( $n'$ ) – promedio
E1	-0,976	0,0625	0,0436	0,0570
E2	-0,959	0,097	0,0621	0,0837
E3	-0,803	0,2953	0,1219	0,2389
E4	-0,797	0,1044	0,0778	0,0940
E5	-2,336	0,1349	0,0708	0,1098
E6	-1,166	0,1513	0,0936	0,1287
E7	-0,701	0,152	0,092	0,1151
Máximo	-2,336	0,2953	-	-
Mínimo	-0,701	-	0,0436	-
Promedio	-1,106	-	-	0,1182

gradiente de la línea de energía (SE), la pendiente de la superficie libre (SW) y la pendiente de fondo, no son iguales.

*Altura de rugosidades ( $k$ ) y verificación del tamaño de sólidos del lecho del río*

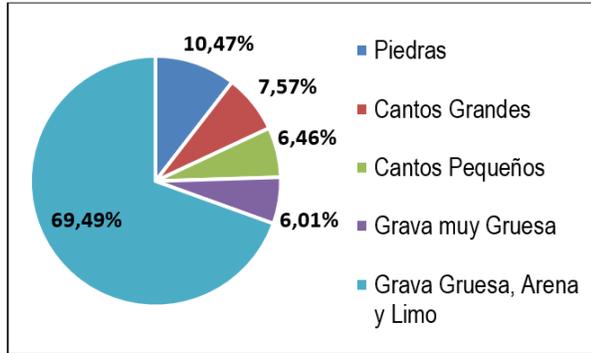
La clasificación de los sedimentos por tamaño presentes en el lecho areno gravoso del río, se lo desarrolló teniendo en cuenta la caracterización oficial de la American Geophysical Unión. La Figura 4, muestra la concentración en porcentaje de los sedimentos predominantes en la zona de estudio.

Aplicando la ecuación (3), se encontraron las alturas de rugosidad  $k$ , obteniéndose una altura de rugosidades máxima de 18,66 cm, una altura de rugosidades mínima de 5,44 cm, una altura de rugosidades promedio de 13,02 cm. También se encontraron como producto del análisis de sedimentos del lecho del río, los diámetros correspondientes al  $d_{10}$ ,  $d_{30}$ ,  $d_{50}$  y  $d_{60}$  para cada estación de aforo, cuyos resultados se muestran en la Tabla 4.

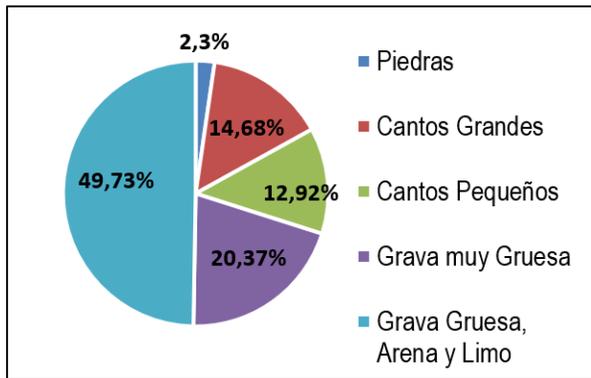
Se pueden observar los diferentes diámetros para cada estación de aforo, en donde para el km.

Tabla 4: Verificación del tamaño de los sólidos calculados vs muestreados

Estación de aforo	<i>k</i> calculado			<i>k</i> muestreado			
	máximo (cm)	mínimo (cm)	promedio (cm)	<i>d</i> <sub>60</sub> (cm)	<i>d</i> <sub>50</sub> (cm)	<i>d</i> <sub>30</sub> (cm)	<i>d</i> <sub>10</sub> (cm)
E1	10,65	5,44	8,330	13,701	12,283	9,238	3,416
E2	10,16	7,62	8,699	14,405	13,288	9,375	5,407
E3	12,92	1,91	12,116	13,125	11,964	9,646	4,594
E4	16,68	12,04	14,636	21,383	19,981	14,009	8,907
E5	18,66	16,20	17,704	22,069	20,960	16,869	9,997
E6	17,43	14,03	15,615	21,803	20,285	15,007	9,563
E7	18,15	18,15	18,149	20,237	20,335	18,427	9,382



(a)



(b)

Figura 4: Variabilidad en la concentración de sedimentos en lecho del río, con predominancia de arenas y gravas

1+250, 3+250, 7+250, 9+250, 11+250, 13+250 el diámetro calculado es similar al *d*<sub>30</sub> de las curvas granulométricas obtenidas; por otro lado, hay una ligera variación respecto al km 5+250, en cuyo único caso se ha encontrado un valor de *d*<sub>50</sub> similar al diámetro calculado. Podemos inferir entonces que el diámetro representativo del río Chonta en toda la región de estudio, corresponde al diámetro 30 (*d*<sub>30</sub>).

Se encontró también una función máxima  $\phi(R/k)$  igual a 0,0466; una función mínima igual a 0,0409 y una función media igual a 0,0438; estos resultados se muestran en la Tabla 5.

Tabla 5: Variación de valores máximos, mínimos y medios de la función  $\phi(R/k)$

Estación de Aforo	$\phi(R/k)$		
	máximo (cm)	mínimo (cm)	promedio (cm)
E1	0,0457	0,042	0,0442
E2	0,0443	0,0413	0,0428
E3	0,0428	0,0409	0,0418
E4	0,046	0,0427	0,0449
E5	0,0466	0,0442	0,0455
E6	0,0434	0,0429	0,0432
E7	0,0444	0,0444	0,0444
Máx./mín./prom.	0,0466	0,0409	0,0438

Esta función es fundamental, ya que representa la media de todos los datos analizados y permite estimar el coeficiente de rugosidad en función del diámetro representativo del lecho del río, que en nuestro caso es el diámetro 30 (*d*<sub>30</sub>). El valor de esta función es similar al valor encontrado por Strickler igual a 0,0476.

Se encontró una ecuación característica que permite estimar el coeficiente de rugosidad de Manning mediante la correlación entre la altura de rugosidades (*k*) y dicho coeficiente. Los resultados de muestran en la Figura 5.

Esta ecuación tiene un coeficiente de determinación alto igual a 0,8248; la cual permitiría también estimar el coeficiente de rugosidad de Manning, mediante un análisis granulométrico del lecho del río, tomando como diámetro representativo el diámetro 30 (*d*<sub>30</sub>), quedando como ecuación final:  $n = 0,2399 \cdot k^2 - 0,0083 \cdot k + 0,0276$ .

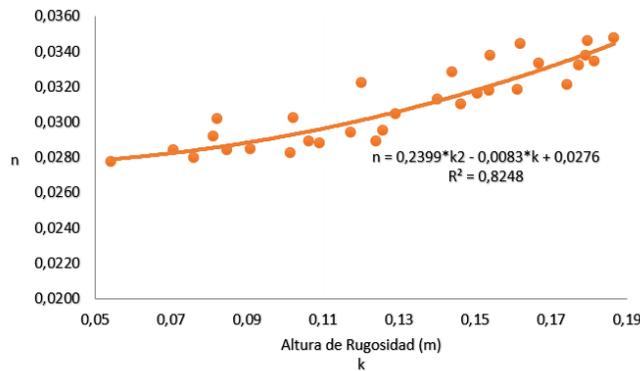


Figura 5: Relación entre el coeficiente de rugosidad medio ( $n$ ) y la altura de rugosidad ( $k$ )

Se verifica que, si reemplazamos un  $k = d_{30}$  promedio igual a 0,13 en la ecuación anterior, obtenemos un valor de 0,0305; similar al valor de 0,0301 estimado con datos de campo medidos en la presente investigación.

#### 4. Conclusiones

La altura de rugosidades calculadas en el río Chonta - Cajamarca, varían entre una altura máxima de 0,19 m y una altura mínima de 0,05 m, obteniéndose un valor promedio de 0,13 m. Por otro lado, del análisis granulométrico de los sedimentos del lecho del río en mención, se obtuvo como valor representativo en cada estación de aforo al diámetro 30 ( $d_{30}$ ).

El coeficiente teórico de rugosidad de Manning ( $n'$ ), para ríos altoandinos con una variabilidad marcada en el diámetro de sedimentos y flujos de aguas poco profundas, no es conveniente determinarlo aplicando la fórmula de Manning, ya que se presentan flujos no uniformes y no permanentes.

En la práctica es posible estimar con un nivel alto nivel de precisión el coeficiente de rugosidad de Manning ( $n$ ), en función de los valores de altura de rugosidades ( $k$ ), para condiciones de lecho de arena gravoso, mediante un análisis granulométrico de los sólidos del lecho del río, considerando el valor de ( $k$ ) como el diámetro representativo medido en campo, equivalente al diámetro 30 ( $d_{30}$ ). Pues existe una alta correlación a partir de la ecuación:  $n = 0,2399 \cdot k^2 - 0,0083 \cdot k + 0,0276$ .

Los valores para la función  $\phi(R/k)$  varía entre un máximo de 0,0466, un mínimo de 0,0409, con un valor promedio igual a 0,0438. Este valor promedio es de gran importancia, ya que también permite estimar el coeficiente de rugosidad de Manning ( $n$ ), considerando que la función  $\phi(R/k)$  es constante y que solamente varía con la altura de rugosidades ( $k^{1/6}$ ), así, la ecuación que permite estimar el coeficiente de rugosidad de Manning es:  $n = 0,0438(d_{30})^{1/6}$ , cuyo diámetro representativo ( $d_{30}$ ) deberá ser determinado en campo mediante un análisis granulométrico de los sedimentos del lecho del río.

#### 5. Referencias

- [1] A. Mohanta, K. C. Patra, and B. B. Sahoo, "Anticipate Manning's coefficient in meandering compound channels," *Hydrology*, vol. 5, no. 3, 2018.
- [2] C. J. Fernández de Córdova Webster, A. J. León Méndez, Y. Rodríguez López, P. G. Martínez Ramírez, and D. M. Meneses Meneses, "Influencia del método de estimación en el coeficiente de Manning para cauces naturales," *Ingeniería Hidráulica y Ambiental*, vol. 39, no. 1, pp. 17–31, 2018.
- [3] M. Attari, M. Taherian, S. M. Hosseini, S. B. Niazmand, M. Jeiroodi, and A. Mohammadian, "A simple and robust method for identifying the distribution functions of Manning's roughness coefficient along a natural river," *Journal of Hydrology*, vol. 595, p. 125680, 2021.
- [4] M. C. Yeon, G. S. Yun, and T. H. Choo, "A research on the estimation of coefficient roughness in open channel applying entropy concept," *Environmental Earth Sciences*, vol. 77, no. 17, pp. 1–15, 2018.
- [5] M. Habibi, M. R. Namaee, and M. Saneie, "An experimental investigation to calculate flow resistance in a steep river," *KSCE Journal of Civil Engineering*, vol. 18, no. 4, pp. 1176–1184, 2014.
- [6] L. De Doncker, P. Troch, R. Verhoeven, K. Buis, and P. Meire, "Validation of the STRIVE model for coupling ecological processes and surface water flow," *Journal of Hydroinformatics*, vol. 13, no. 4, pp. 741–759, 2011.
- [7] Y. Ding, Y. Jia, and S. S. Wang, "Identification of Manning's roughness coefficients in shallow water flows," *Journal of Hydraulic Engineering*, vol. 130, no. 6, pp. 501–510, 2004.
- [8] M. Kumar, "Sensitivity analysis of Manning's roughness coefficient in MIKE 11 model for Mahanadi delta region," *Annals of Plant and Soil Research*, vol. 21, no. 1, pp. 62–66, 2019.
- [9] T. Dyakonova and A. Khoperskov, "Bottom friction models for shallow water equations: Manning's roughness coefficient and small-scale bottom heterogeneity,"

- Journal of Physics: Conference Series*, vol. 973, no. 1, p. 012032, 2018.
- [10] E. Teixeira, M. Coelho, E. Pinto, J. G. Diniz, and A. P. M. Saliba, “Manning’s roughness coefficient for the Doce River,” *RBRH*, 2018.
- [11] A. Pradhan and K. K. Khatua, “Assessment of roughness coefficient for meandering compound channels,” *KSCE Journal of Civil Engineering*, vol. 22, no. 5, pp. 2010–2022, 2018.
- [12] T. Yang, W. Yu-Chi, T. Shun-Chung, and G. Wen-Dar, “Applying micro-genetic algorithm in the one-dimensional unsteady hydraulic model for parameter optimization,” *Journal of Hydroinformatics*, vol. 16, no. 4, pp. 772–783, 2014.
- [13] S. Mohammadi and S. M. Kashefipour, “Numerical modeling of flow in riverine basins using an improved dynamic roughness coefficient,” *Water Resources*, vol. 41, no. 4, pp. 412–420, 2014.
- [14] A. Ye, Z. Zhou, J. You, F. Ma, and Q. Duan, “Dynamic manning’s roughness coefficients for hydrological modelling in basins,” *Hydrology Research*, vol. 49, no. 5, pp. 1379–1395, 2018.
- [15] G. Papaioannou, L. Vasiliades, A. Loukas, and G. T. Aronica, “Probabilistic flood inundation mapping at ungauged streams due to roughness coefficient uncertainty in hydraulic modelling,” *Advances in Geosciences*, vol. 44, pp. 23–34, 2017.
- [16] V. Chow, *Hidráulica de canales abiertos*. Bogotá, Colombia: McGraw-Hill, 1994.
- [17] W. F. Coon, “Estimaciones de coeficientes de rugosidad para canales de arroyos naturales seleccionados con bancos con vegetación en Nueva York,” Documento de suministro de agua de USGC 2441, Informe de archivo abierto, 1995.