



Universidad de San Carlos de Guatemala
Facultad de Ingeniería
Escuela Regional de Ingeniería Sanitaria y Recursos
Hidráulicos (ERIS)

**MODELO PARA EL CÁLCULO DEL COEFICIENTE DE RUGOSIDAD DE MANNING
EN FUNCIÓN DE LA ALTURA DEL MATERIAL DEL FONDO DEL CAUCE, DEL RÍO
ACHIGUATE-GUACALATE**

Ing. Jorge Eduardo Fernández Cardona
Asesorado por el M.Sc. Ing. Juan José Sandoval

Guatemala, marzo de 2019

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA



FACULTAD DE INGENIERÍA

**MODELO PARA EL CÁLCULO DEL COEFICIENTE DE RUGOSIDAD DE
MANNING EN FUNCIÓN DE LA ALTURA DEL MATERIAL DEL FONDO DEL
CAUCE, DEL RÍO ACHIGUATE-GUACALATE**

ESTUDIO ESPECIAL

PRESENTADO A LA ESCUELA REGIONAL DE INGENIERÍA SANITARIA Y
RECURSOS HIDRÁULICOS (ERIS)

POR

ING. JORGE EDUARDO FERNÁNDEZ CARDONA

ASESORADO POR M.Sc. ING. JUAN JOSE SANDOVAL

COMO REQUISITO PREVIO A OPTAR AL GRADO ACADÉMICO DE

**MAESTRO (*MAGISTER SCIENTIFICAE*) EN CIENCIAS
DE RECURSOS HIDRÁULICOS OPCIÓN HIDROLOGÍA**

GUATEMALA, MARZO DE 2019

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA
FACULTAD DE INGENIERÍA



NÓMINA DE JUNTA DIRECTIVA

DECANO	Ing. Pedro Antonio Aguilar Polanco
VOCAL I	Ing. José Francisco Gómez Rivera
VOCAL II	Ing. Mario Renato Escobedo Martínez
VOCAL III	Ing. José Milton de León Bran
VOCAL IV	Br. Luis Diego Aguilar Ralón
VOCAL V	Br. Christian Daniel Estrada Santizo
SECRETARIA	Inga. Lesbia Magalí Herrera López

TRIBUNAL QUE PRACTICÓ EL EXAMEN DE ESTUDIO ESPECIAL

EXAMINADOR	M.Sc. Ing. Juan José Sandoval
EXAMINADOR	M.Sc. Ing. Jesér de Jesús Nij Patzán
EXAMINADOR	M.Sc. Ing. Elfego Odvin Orozco Fuentes

HONORABLE TRIBUNAL EXAMINADOR

En cumplimiento con los preceptos que establece la ley de la Universidad de San Carlos de Guatemala, presento a su consideración mi trabajo de graduación titulado:

MODELO PARA EL CÁLCULO DEL COEFICIENTE DE RUGOSIDAD DE MANNING EN FUNCIÓN DE LA ALTURA DEL MATERIAL DEL FONDO DEL CAUCE, DEL RÍO ACHIGUATE-GUACALATE

Tema que me fuera asignado por la Comisión de Admisión y Otorgamiento de Grado de la Escuela de Ingeniería Sanitaria y Recursos Hidráulicos, con fecha 11 de mayo de 2017.

Ing. Jorge Eduardo Fernández Cardona
Correo electrónico: jorgedufer@yahoo.com.
Carné No 1005715

Guatemala, 11 de marzo de 2019

UNIVERSIDAD DE
SAN CARLOS DE GUATEMALA



50 años
ESCUELA REGIONAL DE INGENIERIA SANITARIA
Y RECURSOS HIDRAULICOS - ERISAC
FACULTAD DE INGENIERIA
UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA - USAC

Facultad de Ingeniería
Escuela Regional de Ingeniería
Sanitaria y Recursos Hidráulicos

Edificio ERIS,
Área de prefabricados, C11
Ciudad Universitaria zona 12
Ciudad de Guatemala 01012
Guatemala, C.A.

Tel. (502) 2418 8000,
Ext. 86213 y 86212
(502) 2418 9138

www.ingenieria-usac.edu.gt

MSc. Ing. Elfego Orozco
Coordinador de la Maestría en Recursos Hidráulicos
Escuela Regional de Ingeniería Sanitaria y Recursos Hidráulicos
Facultad de Ingeniería, USAC

Habiendo revisado el documento denominado " **Modelo para el cálculo del coeficiente de rugosidad de Manning en función de la altura de rugosidad del material del fondo del cauce del río Achiguate-Guacalate**", que fuera elaborado por el Ing. **Jorge Eduardo Fernández Cardona**, como parte de su Estudio Especial, y como requisito para optar al grado académico de Maestro en Recursos Hidráulicos, mediante la presente me permito informarle mi satisfacción con su contenido y por lo tanto, le comunico que dicho documento cuenta con mi aprobación.

Agradeciendo la atención prestada a la presente, me suscribo de usted,

Atentamente,

"ID Y ENSEÑAD A TODOS"

MSc. Ing. Juan Jose Sandoval
Asesor del Estudio

UNIVERSIDAD DE
SAN CARLOS DE GUATEMALA



ESCUELA REGIONAL DE INGENIERIA SANITARIA
Y RECURSOS HIDRAULICOS - ERIS -
FACULTAD DE INGENIERIA
UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA - USAC

Facultad de Ingeniería
Escuela Regional de Ingeniería
Sanitaria y Recursos Hidráulicos
COORDINACIÓN
RECURSOS HIDRÁULICOS

Edificio ERIS,
Área de prefabricados, CII
Ciudad Universitaria zona 12
Ciudad de Guatemala 01012
Guatemala, C.A.

Tel. (502) 2418 8000,
Ext. 86213 y 86212
(502) 2418 9138

www.ingenieria-usac.edu.gt

Guatemala, 13 de marzo de 2019

Señores
Comisión de Admisión y Otorgamiento de Grado
Escuela Regional de Ingeniería Sanitaria y Recursos Hidráulicos
Facultad de Ingeniería, USAC

Respetuosamente les comunico que he revisado la versión corregida, en mi calidad de Coordinador de la Maestría de Recursos Hidráulicos, el trabajo de Estudio Especial titulado:

Modelo para el cálculo del coeficiente de rugosidad de manning en función de la altura de rugosidad del material del fondo del cauce del río Achiguate-Guacalate

presentado por el estudiante,

Ingeniero Jorge Eduardo Fernández Cardona

Les manifiesto que el estudiante cumplió con los requisitos exigidos por la Escuela Regional de Ingeniería Sanitaria y Recursos Hidráulicos (ERIS) Y la Universidad de San Carlos de Guatemala, en la realización de su estudio en forma satisfactoria.

Agradeciéndoles la atención a la presente, se suscribe de ustedes,

Atentamente,

“ID Y ENSEÑAD A TODOS”

MSc. Ing. Elfege Orozco
Coordinador Maestría de Recursos Hidráulicos



El Director de la Escuela Regional de Ingeniería Sanitaria y Recursos Hidráulicos -ERIS- después de conocer el dictamen del tribunal examinador integrado por los profesores siguientes: MSc. Ing. Juan José Sandoval, MSc. Ing. Jéser Esaú de Jesús Nij Patzán y MSc. Ing. Elfego Odvin Orozco Fuentes; así como el visto bueno del Coordinador de la Maestría en Recursos Hidráulicos, MSc. Ing. Elfego Odvin Orozco Fuentes, la revisión de lingüística realizada por la Licda. en Letras Jéssica Edith Melgarejo Monterroso, colegiada No. 27,003, al trabajo del estudiante: Ingeniero Jorge Eduardo Fernández Cardona, titulado " **MODELO PARA EL CÁLCULO DEL COEFICIENTE DE RUGOSIDAD DE MANNING EN FUNCIÓN DE LA ALTURA DE RUGOSIDAD DEL MATERIAL DEL FONDO DEL CAUCE DEL RÍO ACHIGUATE-GUACALATE** ", en representación de la Comisión de Admisión y Otorgamiento de Grado, procede a la autorización del mismo en Guatemala, 15 de marzo de 2019.

IMPRIMASE

"ID Y ENSEÑAD A TODOS"



MSc. Ing. Pedro Cipriano Saravia Celis
DIRECTOR

ACTO QUE DEDICO A:

Mis padres Romeo Fernández y Esperanza Cardona de Fernández.

Mi esposa Glendy Iliana Alvarado de Fernández.

Mis hijos Didier Eduardo y Jorge Alejandro Fernández Alvarado.

Mis hermanos Carlos Romeo y Héctor Rodolfo Fernández Cardona.

Mis amigos en general

AGRADECIMIENTOS A:

Universidad de San Carlos
de Guatemala.

Por brindarme la oportunidad de realizar estos estudios a través de la Facultad de Ingeniería y la Escuela Regional de Ingeniería Sanitaria y Recursos Hidráulicos.

Mis catedráticos.

Por la transmisión de sus conocimientos en especial al Ing. Juan José Sandoval Asesor del presente estudio.

Instituto Nacional de Sismología,
Vulcanología, Meteorología e
Hidrología.

Por su colaboración al proporciona la información técnica hidrológica para el estudio.

Centro de Investigaciones de
Ingeniería

Por su aporte en el análisis granulométrico de las muestras para el estudio.

ÍNDICE GENERAL

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES	V
GLOSARIO	IX
RESUMEN	XI
PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA	XIII
JUSTIFICACIÓN	XV
OBJETIVOS	XVII
HIPÓTESIS	XVIII
ANTECEDENTES	XIX
1. MARCO CONCEPTUAL	1
1.1 Análisis dimensional	1
1.2 Propiedades físico-hidráulicas y geométricas de los canales	1
1.3 Resistencia al flujo	2
1.4 Formas de fondo	5
1.5 Clasificación por el material de las márgenes y del fondo	6
1.6 Factores que afectan el coeficiente de rugosidad de Manning	7
1.7 Determinación del coeficiente de rugosidad de Manning	9
2. DESCRIPCIÓN DEL ÁREA DE ESTUDIO	11
2.1 Ubicación	11
2.2 Fisiografía	12
2.3 Hidrografía	13
2.4 Geología	15
2.5 Zonas de vida según MAGA	15
3. DESARROLLO DEL MÉTODO	17
3.1 Desarrollo analítico del método	17

3.2	Pasos para la aplicación del modelo	19
3.2.1	Cálculo preliminar de “n”	19
3.2.2	Cálculo preliminar de “K”	20
3.2.3	Relación R_h / K	21
3.2.4	Cálculo de $\emptyset(Rh/K)$	21
3.2.5	Gráfica de $\emptyset(Rh/K) - Rh/K$	21
3.2.6	Propuesta del modelo matemático para “n”	22
4.	RECOPIACIÓN DE INFORMACIÓN.....	23
4.1	Identificación de estaciones de aforo	24
4.2	Datos geométricos e hidráulicos.....	24
4.3	Pendientes sobre el cauce del río	25
5.	MODELO PARA EL COEFICIENTE DE RUGOSIDAD.....	27
5.1	Aplicación del método.....	27
5.1.1	Cálculo preliminar de n	28
5.1.2	Cálculo del valor de la altura de rugosidad “K”	28
5.1.3	Cálculo de la relación (R_h/K)	29
5.1.4	Cálculo de $\emptyset(Rh/K)$	29
5.2	Resultados.....	29
5.2.1	Para años 2002-2010	29
5.2.2	Para años 2011-2016	30
5.2.3	Para años 2002-2016	31
5.3	Análisis estadístico	32
5.3.1	Medidas de tendencia central.....	33
5.3.2	Medidas de dispersión.....	33
5.3.3	Interpretación estadística.....	34
5.4	Propuesta del modelo.....	35

6.	VALIDACIÓN DEL MODELO	37
6.1	Métodos de muestreo del material de fondo	37
6.1.1	Muestreo para $D \geq 2$ mm:	38
6.1.2	Muestreo para $D < 2$ mm	40
6.2	Ubicación de los puntos de muestreo granulométrico	41
6.3	Características de los puntos muestreados	42
6.4	Resultado de los muestreos.....	44
6.4.1	Granulometría en Alotenango	44
6.4.2	Granulometría en Ciudad Vieja.....	49
6.4.3	Granulometría en Pastores	51
6.5	Aplicando el modelo.....	53
7.	OTROS MÉTODOS PARA DETERMINAR “n”	55
7.1	Métodos visuales a través de tablas	55
7.2	Métodos analíticos	60
8.	ANÁLISIS Y COMPARACIÓN DE RESULTADOS.....	65
8.1	Comparación de resultados con otros métodos.....	65
8.2	Análisis estadístico	65
8.3	Análisis de datos por década	66
8.4	Comparación del modelo con aforos posteriores al modelo	67
	CONCLUSIONES	71
	RECOMENDACIONES.....	73
	BIBLIOGRAFÍA.....	75
	APÉNDICES	77
	ANEXOS	97

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

FIGURAS

1. Mapa de cuencas hidrográficas de la República de Guatemala.....	14
2. Gráfica para determinar el modelo de “n”	22
3. Gráfica de valor medio $\emptyset(Rh/K)$. Años 2002 a 2010.....	30
4. Gráfica de valor medio $\emptyset(Rh/K)$. Años 2011 a 2016.....	31
5. Gráfica para determinar valor medio de $\emptyset(Rh/K)$ Años 2002-2016	32
6. Granulometría del cauce en AlotenangoFuente: elaboración propia. .	45
7. Simulación de granulometría de cauce en Alotenango	46
8. Curva granulométrica en Alotenango	49
9. Curva granulométrica en Ciudad Vieja	51
10. Curva granulométrica en Pastores	53
11. Gráfica Área - Altura en aforos del río Achiguate-Guacalate.....	62
12. Velocidad vs altura en aforos del río Achiguate-Guacalate	63

TABLAS

1. Clasificación de material de fondo según Verdu	7
2. Coordenadas de la cuenca del río Achiguate-Guacalate	11
3. Características hidrográficas de la cuenca Achiguate-Guacalate	13
4. Corrientes del río Achiguate-Guacalate	13
5. Zonas de vida de la cuenca del río Achiguate-Guacalate	15
6. Cantidad de aforos realizados por estación	23
7. Ubicación de las estaciones de aforo.....	24
8. Pendientes donde se ubican las estaciones de aforo	25
9. Valor de las medidas de tendencia central para $\emptyset(Rh/K)$	33
10. Ubicación de puntos de muestreo granulométrico	41
11. Áreas por diámetro de cauce en Alotenango	47
12. Análisis granulométrico en Alotenango incluyendo gravas	48
13. Análisis granulométrico en Ciudad Vieja	50
14. Análisis granulométrico en Pastores	52
15. Ven Te Chow. Propuesta de valores de “n”	56
16. Woodward and Posey. Propuesta de valores de “n”	57
17. Luis Cea. Propuesta de valores de “n”	58
18. U.S Department of Agriculture. Propuesta de valores de “n”	59
19. Valores de “n” calculados a partir de la ecuación de Manning	61
20. Valores promedio de “n”	64
21. Resumen de valores “n” con diferentes métodos	65
22. Análisis estadístico de “n” con diferentes métodos	66
23. Aforos 2017. Estación Alotenango II	67
24. Cálculo de velocidades y caudal total en Alotenango II	68
25. Comparación de valores de “n”	69

LISTA DE SÍMBOLOS

Símbolo	Significado
K	Altura de rugosidad
A	Área
C_{CH}	Coefficiente de Chezy
f_{D-W}	Coefficiente de Darcy – Weisbach
C_R	Coefficiente de resistencia al flujo
n	Coefficiente de rugosidad de Manning
D	Diámetro interno
L	Longitud
m	Metro
m^2	Metro cuadrado
m^3	Metro cúbico
mm	Milímetro
Re	Número de Reynolds
S	Pendiente en %
h_f	Pérdida de carga por fricción
Pm	Perímetro mojado
R_h	Radio hidráulico
K_s	Rugosidad relativa
V	Velocidad

GLOSARIO

Acorazados	Coraza de material grueso en su superficie.
Aluvial	Que se ha formado a partir de materiales arrastrados y depositados por corrientes de agua.
Cohesivo	Que mantiene una unión estrecha entre materiales.
Dunas	Son ondulaciones formadas por arenas en los cauces, con pendiente más suave aguas arriba y ángulo de reposo aguas abajo.
Ensayo	Prueba que se hace a determinados materiales para determinar sus propiedades mecánicas.
Estación de aforo	Es la instalación que evalúa el caudal de agua que escurre por un río.
Fisiografía	Ciencia que tiene por objetivo la descripción de la superficie terrestre y de sus fenómenos.
Hidrometría	Parte de la hidrología que mide el volumen de agua que circula por una sección de un conducto en un tiempo dado.

Latitud (geodesia)	Distancia angular que hay desde un punto de la superficie de la Tierra hasta el paralelo del ecuador; se mide en grados, minutos y segundos sobre los meridianos.
Longitud (geodesia)	Distancia angular de un punto de la superficie terrestre al meridiano de Greenwich, determinada por el arco del ecuador comprendido entre dicho meridiano y el punto terrestre considerado; se mide en grados, minutos y segundos hasta los 180°.
Marisma	Terreno pantanoso situado por debajo del nivel del mar que ha sido invadido por las aguas del mar o de un río.
Modelo	Representación abstracta, conceptual, gráfica, visual o física de fenómenos, sistemas o procesos, a fin de analizar, describir, explicar, simular o predecir fenómenos o procesos a partir de datos de entrada.
Rizos	Son ondulaciones triangulares con pendiente suave en la cara de aguas arriba y pendiente natural del material en la cara de aguas abajo.
Rugosidad	Irregularidades en la superficie de fondo y paredes de un cauce que están en función del material que lo forma.

RESUMEN

El presente estudio hace una propuesta de un modelo matemático para poder estimar el valor del coeficiente de rugosidad de Manning representado simbólicamente por una “n”. El área de estudio escogida para formular este modelo es la cuenca del río Achiguate-Guacalate.

Para llevar a cabo este análisis y hacer la propuesta del modelo se tomó como base las ecuaciones de Chezy y de Manning, las cuales se relacionan entres sí, con la finalidad de obtener una expresión de “n” en función del radio hidráulico “ R_h ” y la altura de rugosidad de las partículas del fondo del cauce del río “K”.

Se presenta la recopilación de datos de todas las estaciones de aforo que han funcionado a partir del año 2002 a la fecha y que opera y maneja el Instituto Nacional de Sismología, Vulcanología, Meteorología e Hidrología (INSIVUMEH) a través de su departamento de Hidrología.

Para validar el modelo obtenido se tomaron muestras del material de fondo del cauce en tres puntos diferentes dentro de la cuenca, con el objetivo de realizarles un análisis granulométrico y obtener el diámetro medio D_{50} . Con estos datos se obtiene un valor para “n” en los puntos seleccionados aplicando el modelo obtenido.

Para comparar resultados, se calcula el valor de “n” por medio de otros métodos utilizando la misma información con la que se propone el modelo.

Finalmente, se compara el modelo calculando valores de “n” con datos de aforos recientes y que no fueron utilizados en la creación del modelo.

PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

Determinar el valor para el coeficiente de rugosidad de un cauce en donde intervienen muchas variables por la no uniformidad del material de fondo constituye un problema hidráulico por resolver para los ingenieros. El solo hecho de tener que escoger cuál método utilizar para determinar la rugosidad en los ríos es en sí un problema. Todo método tiene sus ventajas y desventajas y en gran medida depende de la experiencia del ingeniero el poder saber escoger el método para llegar a obtener un buen resultado.

Si se realiza un ensayo con los datos de una misma estación de aforo es posible observar que para cada medición existirá un valor diferente de “n”, que se puede deducir de la ecuación de Manning conociendo la velocidad, pendiente y factores geométricos. Esto indudablemente causa incertidumbre al momento de querer determinar un valor para el coeficiente de Manning para otra sección de la cuenca del río.

JUSTIFICACIÓN

Cuando el ingeniero enfrenta la definición de los condicionantes hidráulicos de un modelo hidráulico, ya sea unidimensional o bidimensional, una de las variables que más influyen en el comportamiento del modelo es precisamente el coeficiente de rugosidad. Entre los coeficientes de rugosidad, el coeficiente “n” de Manning es universalmente el más utilizado, por encima de otros como el coeficiente “CCH” de Chezy o el coeficiente “f” de Darcy-Weisbach.

Poder determinar un modelo en cualquier campo de la ciencia tiene la ventaja y el beneficio de que se requiere de menos tiempo y es menos caro que experimentar con el objeto o la situación real. Permite además una identificación rápida de las expectativas esperadas, así como la reducción de los riesgos asociados con la experimentación real, siempre y cuando la recolección de datos no sea muy costosa y complicada.

En ciencias aplicadas como la hidráulica, un modelo matemático es uno de los tipos de modelos científicos que emplea algún tipo de formulismo matemático para expresar relaciones, variables y parámetros para estudiar comportamientos de sistemas complejos ante situaciones difíciles de observar en la realidad.

Siendo la ecuación de Manning universalmente aceptada, en el presente trabajo se llegará a formular un modelo para poder determinar el valor del coeficiente de rugosidad “n” en función de la altura de rugosidad del fondo del lecho, con lo cual se tendrá la ventaja de que se podrá obtener este coeficiente solamente con tomar una muestra del fondo del río en el punto de interés y a

partir de ello determinar, por medio de un análisis granulométrico, el diámetro medio (D_{50}) de las partículas de fondo.

Al proponer un modelo para determinar el coeficiente de rugosidad de Manning en la cuenca del río Achiguate-Guacalate se presenta una alternativa diferente a las más comúnmente utilizadas, como los métodos visuales o los métodos analíticos. El modelo tendrá la ventaja de que tomará en cuenta una cantidad razonable de datos de las seis estaciones de aforo que se ubican dentro de esta cuenca, lo cual en gran medida garantiza que el modelo a proponer será bastante fiable de utilizar.

Por último, una de las ventajas más importantes radica en que el método no es subjetivo, como sí lo es la utilización de una fotografía o de una tabla que se basan en ciertas imágenes o ciertas descripciones, para proponer un valor para este coeficiente y que además depende de la experiencia del ingeniero investigador para su determinación.

OBJETIVOS

General

Proponer un modelo para el cálculo del coeficiente de rugosidad de Manning en función de la altura del material del fondo del cauce del río Achiguate-Guacalate.

Específicos

- Caracterizar geometría e hidráulica de las secciones donde se ubican las estaciones de aforo dentro de la cuenca del río Achiguate-Guacalate.
- Desarrollar el método y proponer el modelo, tomando en cuenta las ecuaciones de Chezy y de Manning, basado en la información de las estaciones de aforo.
- Determinar el D_{50} en diferentes puntos de la cuenca y determinar el valor de “n” aplicando el modelo.
- Establecer por otros métodos el valor de “n” y compararlo con los resultados obtenidos aplicando el modelo.
- Tomar datos de aforos recientes para comparar resultados con los obtenidos por medio del modelo.

HIPÓTESIS

Se podrá determinar un valor fiable para el coeficiente de rugosidad de Manning formulando un modelo en función de la altura de rugosidad del material del fondo del cauce en la cuenca del río Achiguate-Guacalate con información de las estaciones de aforo.

ANTECEDENTES

En el año 1889 el ingeniero irlandés Robert Manning presentó por primera vez la ecuación durante la lectura de un artículo en una reunión del Institute of Civil Engineers de Irlanda. La ecuación en principio fue dada en una forma complicada y luego simplificada a $V = C * R_h^{2/3} * S^{1/2}$, donde "V" es la velocidad media, "C" el factor de resistencia al flujo, "R_h" el radio hidráulico y "S" la pendiente. Esta fue modificada posteriormente por otros y expresada en unidades métricas como $V = \frac{1}{n} * R_h^{2/3} * S^{1/2}$ (siendo "n" el coeficiente de rugosidad de Manning).

Para estimar el valor del coeficiente de rugosidad "n" de Manning se recurre a diversos métodos, entre los más importantes figuran el método del Servicio de Conservación de los Recursos Naturales (N.R.C.S.) de los Estados Unidos, el cual determina el valor de "n" a partir de un valor básico tabulado al cual se le aplican una serie de modificaciones de acuerdo con las características del tramo que se analiza.

Algunas veces, el valor de "n" se extrae de tablas elaboradas sobre la base de experiencias profesionales, generalmente estas tablas van acompañadas de fotografías que facilitan al diseñador la selección del valor más apropiado de acuerdo a las condiciones reales del canal al comparar lo observado con las fotografías.

Fuentes y López desarrollaron una expresión teórica que permite obtener el valor del coeficiente de rugosidad "n" para un tramo de canal mediante un

proceso iterativo en la ecuación. Esta expresión incluye términos como: pendiente del fondo del canal, pendiente de la línea de energía, el coeficiente de Manning “n”, el número de Froude y las profundidades correspondientes a los extremos del tramo de canal seleccionado.

Karim desarrolló otra expresión que permite calcular el valor de “n” para un tramo de canal, tal como la que se origina al relacionar la descarga de sedimentos y las relaciones de velocidad. En la expresión final intervienen variables como el factor de fricción de Darcy- Weisbach, el factor de fricción del flujo sobre una lámina de lecho inmóvil y el tamaño mediano de las partículas del material del lecho. Esta ecuación suministra un procedimiento que relaciona la rugosidad en el flujo con el tamaño del sedimento y con el régimen del lecho en el marco de la ecuación de Manning.

Sobre la base de observaciones hechas en Suiza, Strickler concluyó que el “n” de Manning varía con la raíz sexta de la altura de rugosidad, “K”. La altura de rugosidad utilizada por Strickler es el tamaño medio de la malla del material, es decir el D_{50} . La fórmula deducida por Strickler es $n = 0.047 D^{1/6}_{50}$ con “D” expresada en metros y “n” en $\text{seg}/\text{m}^{1/3}$.

Existe también un sinnúmero de otras fórmulas relacionando el valor de “n” con un cierto diámetro característico del material, como por ejemplo D_{65} , D_{80} , D_{90} , entre otros. Posada (1998) reporta para un conjunto de cauces naturales de los departamentos de Antioquia y Risaralda en Venezuela la siguiente ecuación: $n=0.0487 D^{1/6}_{50}$.”.

La Facultad de Ingeniería de la Universidad de Carabobo realizó un estudio basado en los aforos de las estaciones de los grandes ríos de Venezuela y ha

determinado el valor de “n” de Manning en función del diámetro medio de las partículas del fondo. Como resultado de esta investigación llegaron a determinar el siguiente modelo para el cálculo de “n”: $n = 0.0336K^{1/6}$ con “K” como diámetro medio (D_{50}).

1. MARCO CONCEPTUAL

En hidráulica fluvial estimar la resistencia al flujo representa un problema para los ingenieros, pero afortunadamente existen diversos métodos para su cálculo, siendo uno de los más utilizados el método de Manning, el cual es sencillo y proporciona buenos resultados, aunque la selección del coeficiente de Manning no es fácil. También se debe tomar en cuenta que existe evidencia de que la resistencia al flujo en ríos varía con el caudal, de lo cual se deduce que se necesitarían varios coeficientes de Manning.

1.1 Análisis dimensional

Al hacer el análisis dimensional de “n” se deduce que tiene unidades $TL^{-1/3}$ pero, como no resulta explicable que aparezca el término T en un coeficiente que expresa rugosidad, se ha propuesto hacer intervenir un factor $g^{1/2}$, siendo “g” la aceleración de la gravedad, con lo que las unidades para “n” serían $L^{-1/3}$, algo más apropiado para el concepto físico que se pretende representar.

1.2 Propiedades físico-hidráulicas y geométricas de los canales

Un canal es un conducto natural o artificial por donde fluye un líquido valiéndose únicamente de la acción de la fuerza de gravedad. Se caracteriza por presentar una superficie libre expuesta a presión atmosférica. Las características hidráulicas y geométricas de un canal son su área, el perímetro mojado, la profundidad o tirante hidráulico y el ancho.

1.3 Resistencia al flujo

Lo real y correcto para hacer cualquier estudio sobre los coeficientes de resistencia hidráulicos es partir del origen y es lo que se pretende. La fórmula general de la resistencia al flujo es:

$$hf = C_R * \frac{L}{R_h} * \frac{V^2}{2g}$$

Donde:

h_f = Pérdida de carga por fricción (m)

C_R = Coeficiente de resistencia al flujo (Fanning)

L = Longitud (m)

R_h = Radio hidráulico (m)

V = Velocidad (m/seg)

g = Gravedad (m/seg²)

Esta ecuación es el fundamento de las fórmulas de Chézy, Manning y Darcy-Weisbach para la evaluación de las pérdidas de carga, que son las más empleadas para dicho fin. Las dos primeras para canales y la tercera para tuberías.

Para Chézy, la ecuación para canales y tuberías, respectivamente, es la siguiente:

$$hf = \frac{1}{C_{CH}^2} * \frac{L}{R_h} * V^2 = \frac{4}{C_{CH}^2} * \frac{L}{D_i} * V^2 \quad \therefore C_{CH} = \sqrt{\frac{2g}{C_R}}$$

Donde:

C_{CH} = Coeficiente de Chézy

L = Longitud (m)

V = Velocidad (m/seg)

R_h = Radio hidráulico (m)

D_i = Diámetro interno (m)

g = Aceleración de la gravedad (m/seg²)

Para Manning, la ecuación para canales y tuberías, respectivamente, es la siguiente:

$$hf = n^2 * \frac{L}{R_h^{4/3}} * V^2 = 6.35 n^2 * \frac{L}{D_i^{4/3}} * V^2$$

$$n = \sqrt{\frac{C_R}{2g}} * R_h^{1/6} = \frac{1}{C_{CH}} * R_h^{1/6}$$

n = Coeficiente de Manning (m/seg^{1/3})

Para Darcy-Weisbach, la ecuación para tuberías es:

$$hf = f_{D-W} * \frac{L}{D_i} * \frac{V^2}{2g} \quad \therefore f_{D-W} = 4 * C_R$$

f_{D-W} = Coeficiente de Darcy - Weisbach

Como el coeficiente de la resistencia al flujo es:

$$C_R = \frac{0.0625}{\left[\log \left(\frac{K_S}{14.8 * R_h} + \frac{5.74}{Re^{0.9}} \right) \right]^2}$$

K_s = Rugosidad relativa

Re = Número de Reynolds

Entonces, se determinan los coeficientes (C_{CH} y n):

$$C_{CH} = \sqrt{\frac{2g}{C_R}} = 17.718 \log \left(\frac{K_s}{14.8 * R_h} + \frac{5.74}{Re^{0.9}} \right)$$

$$n = \sqrt{\frac{C_R}{2g}} * R_h^{1/6} = \frac{0.05644}{\log \left(\frac{K_s}{14.8 * R_h} + \frac{5.74}{Re^{0.9}} \right)} * R_h^{1/6}$$

Estas fórmulas propuestas para los coeficientes de Chézy y Manning son generales, pues están en función del número de Reynolds y la rugosidad relativa, como se infiere de su origen a partir del coeficiente de la resistencia al flujo; además, los resultados son más confiables y no es necesario conocer la categoría del flujo turbulento que está ocurriendo.

Se puede demostrar que tanto las fórmulas empíricas como las experimentales utilizadas en la actualidad para calcular los coeficientes de Chézy y Manning no son totalmente correctas. La fórmula experimental para calcular el coeficiente de Manning es:

$$n = \frac{1}{V} * R_h^{2/3} * S^{1/2}$$

1.4 Formas de fondo

Cuando el agua escurre por el fondo de su canal tiene la capacidad de remover el sedimento, deformando con ello el fondo y configurándolo de diferentes formas, como en el caso de las dunas del desierto y de las playas en el mar. Simons y Richardson hicieron una descripción de las configuraciones del fondo basados en observaciones hechas en canales de laboratorio y propusieron la siguiente clasificación:

- Régimen inferior o lento, $F_r < 1$
 - Fondo plano sin arrastre
 - Rizos
 - Dunas con rizos sobreimpuestos
 - Dunas
 - Transición de dunas a fondo plano

- Régimen superior o rápido, $F_r > 1$
 - Fondo plano con arrastre
 - Ondas estacionarias simétricas
 - Antidunas

Donde F_r es el número de Froude.

1.5 Clasificación por el material de las márgenes y del fondo

- Cohesivo: son los cauces alojados predominantemente arcillosos.
- No cohesivo: ocurre en los cauces alojados en materiales que no desarrollan cohesión, sino que están formados por partículas sueltas. Se clasifican a su vez, según el predominio del material grueso, en boleto y cantos rodados si $D_m > 64$ mm, o en grava y arena si $64 > D_m > 2$ mm, y en arenoso si $2 > D_m > 0.062$ mm, siendo D_m el diámetro medio de las partículas.
- Acorazados: son los cauces donde debido a lo extendido de la granulometría (desviación estándar de los diámetros es mayor que 3, que se expresa como: $\bar{\delta}_g > 3$), puede ocurrir el arrastre de las partículas más finas, lo que permite la formación de una capa protectora o coraza de material grueso en su superficie, la cual mantiene debajo de ella a toda la granulometría original, incluyendo los finos.
- Bien graduados o granulometría extendida: es aquella en que la desviación estándar de los diámetros de las partículas es mayor a 3, ($\bar{\delta}_g > 3$). Están en esta clasificación los sedimentos del fondo compuestos por una gran cantidad de tamaños.
- Mal graduados o de granulometría uniforme: esto ocurre si $\bar{\delta}_g < 3$. Cuando los tamaños de las partículas siguen una distribución log-normal o logarítmica, la desviación estándar geométrica vale:

$$\bar{\delta}_g = (D_{84}/D_{50}) = (D_{50}/D_{16}) = (D_{84}/D_{16})^{1/2}$$

Específicamente referido a material del fondo, Verdu, propone la siguiente clasificación:

Tabla 1. **Clasificación de material de fondo según Verdu**

Tipo de material	Tamaño D ₅₀ (mm)
Piedras	256 - 456
Cantos	64 - 256
Gravas	2 - 64
Arenas	0.062 - 2

Fuente: MILLANAO, Beatriz (2010). *Determinación de granulometría de lecho de cauce de montaña a través del uso de fotografías digitales*. P.9.

1.6 Factores que afectan el coeficiente de rugosidad de Manning

No es correcto tener la concepción de que en un canal el coeficiente “ n ” de Manning es un valor constante, ya que este valor depende de una serie de factores, los cuales pueden estar interrelacionados hasta cierto punto. Se ha encontrado que los factores que más intervienen en la determinación de este coeficiente son:

- Rugosidad superficial: se presenta debido al tamaño y la forma del material que conforma el perímetro mojado del canal, el cual causa un efecto retardante en el flujo. Cuando el material del perímetro es fino, el valor de “ n ” es bajo, y cuando el material es grueso se obtiene un valor alto de “ n ”.

- Vegetación: el efecto retardante causado por la vegetación depende por completo de la altura, la densidad, la distribución y el tipo de vegetación. En canales pequeños poco profundos y protegidos con recubrimiento vegetal, los valores de “n” varían con la forma y la sección transversal del canal, la pendiente del lecho del canal y la profundidad del flujo. A menor profundidad el valor de “n” es mayor debido a la cobertura vegetal y mientras más ancho es el canal, el valor de “n” se incrementa.
- Irregularidad del canal: Es el resultado de los depósitos de sedimentos o de la socavación del canal y se presentan a lo ancho de la sección transversal y a lo largo de su eje longitudinal. Cuando la variación en el eje longitudinal es gradual, el valor de “n” no se afecta significativamente, pero cuando los cambios son abruptos el valor de “n” tiende a incrementarse.
- Alineamiento del canal: el valor de “n” varía también respecto al grado de curvatura de los meandros, siendo este menor cuando el grado de curvatura lo define un radio grande, y cuando el radio es menor el valor de “n” aumentará.
- Sedimentación y socavación: la sedimentación y la socavación influyen de manera contraria en el valor de “n”. La sedimentación del cauce de un canal conlleva una disminución en el valor de “n”, mientras la socavación produce un efecto contrario aumentando el valor de “n”.
- Obstrucción: troncos, desechos y estructuras hidráulicas tienden a incrementar el valor de “n”, el cual depende del tamaño, forma, número y distribución a lo largo y ancho del canal.

- Nivel del agua y descarga: normalmente el valor de “ n ” tiende a disminuir en un canal al aumentar el nivel del agua y la descarga, debido a que el porcentaje de volumen de agua que no está en contacto con su perímetro mojado es mayor mientras aumenta el nivel del agua.

1.7 Determinación del coeficiente de rugosidad de Manning

En la fórmula de Manning, la dificultad reside en la determinación del coeficiente de rugosidad “ n ”, pues no hay un método exacto de seleccionar un valor “ n ”. Se requiere de un profundo juicio de ingeniería y experiencia para determinar un valor para “ n ” y diferentes individuos obtendrán resultados diferentes.

Para calcular entonces el coeficiente de rugosidad “ n ” se dispone de tablas como la publicada por el U.S Department of Agriculture; o la de Chow y una serie de fotografías que muestran valores típicos del coeficiente “ n ” para un determinado tipo de canal.

Aparte de estas ayudas, se encuentra en la literatura numerosas fórmulas para expresar el coeficiente de rugosidad de Manning en función del diámetro de las partículas, las cuales tienen la forma $n = m D^{1/6}$, donde “ m ” es un factor de escala y “ D ” es un diámetro característico del material del lecho (D_{50} , D_{75} , D_{84} , D_{90}) que son, respectivamente, los diámetros correspondientes al 50%, 75%, 84% y 90% de la curva granulométrica del material del lecho.

En el presente estudio el modelo a proponer tiene esta forma y utiliza como diámetro característico del D_{50} , es decir el modelo propone la forma:

$$n = m D_{50}^{1/6}.$$

Otros modelos tienen forma logarítmica y expresan “ n ” en función del diámetro de las partículas (D_{50} o D_{84}) y de las características del flujo (radio hidráulico y profundidad media del flujo).

2. DESCRIPCIÓN DEL ÁREA DE ESTUDIO

2.1 Ubicación

El río Achiguate-Guacalate se ubica dentro de la vertiente hidrográfica del océano Pacífico. Se denomina Guacalate a la parte alta de la cuenca hasta la parte media, y a partir de esta hacia la parte baja y su desembocadura se denomina Achiguate.

Tiene algunos ramales de importancia, como el río Pensativo, que escurre al lado este de la cuenca desde Santa Lucía Milpas Altas hasta unirse al Guacalate en el municipio de Ciudad Vieja. Otro ramal de importancia es el del río Cenizas, que se une en la parte baja al Achiguate.

El río Achiguate-Guacalate se ubica abarcando los departamentos de Sacatepéquez, Chimaltenango y Escuintla, entre las coordenadas siguientes:

Tabla 2. **Coordenadas de la cuenca del río Achiguate-Guacalate**

Latitud	Longitud
13°54'43"	90°55'03"
14°39'40"	91°00'33"

Fuente: elaboración propia con datos de mapas cartográficos.

2.2 Fisiografía

Se identifican dos regiones fisiográficas dentro de la cuenca, las tierras altas volcánicas y la planicie costera del pacífico que, según MAGA-BID, se describen de la siguiente manera:

Las tierras altas volcánicas las forman:

- Montañas volcánicas del centro del país
- Valle tectónico de Chimaltenango
- Abanico aluvial de Antigua Guatemala
- Volcanes de Acatenango y Fuego
- Volcán de Agua

La planicie costera del pacífico la forman:

- Abanico aluvial Coyolate-Acomé-Achiguate (parte del vértice)
- Abanico aluvial Coyolate-Acomé-Achiguate (parte media)
- Abanico aluvial Coyolate-Acomé-Achiguate (parte distal)
- Zona de marisma del litoral del pacífico
- Planicie aluvial de los ríos Achiguate-Michatoya

2.3 Hidrografía

Las características hidrográficas de la cuenca son las siguientes según MAGA (2001):

Tabla 3. **Características hidrográficas de la cuenca Achiguate-Guacalate**

Area	Perímetro	Orden de corriente	Longitud cauce principal	Pendiente media	Altitud promedio
Km ²	Km		Km	%	msnm
1321.50	222.05	8	123.50	16.20	850.09

Fuente: ANLEU FORTUNY, Rafael Ignacio. *Zonificación de la cuenca del Río Achiguate–Guacalate: una propuesta de integración de criterios para la reducción del riesgo a desastres.* P.39

La cuenca hidrológicamente se identifica con la nomenclatura 1.12 en los mapas hidrológicos de INSIVUMEH como se muestra en el mapa de la figura 1.

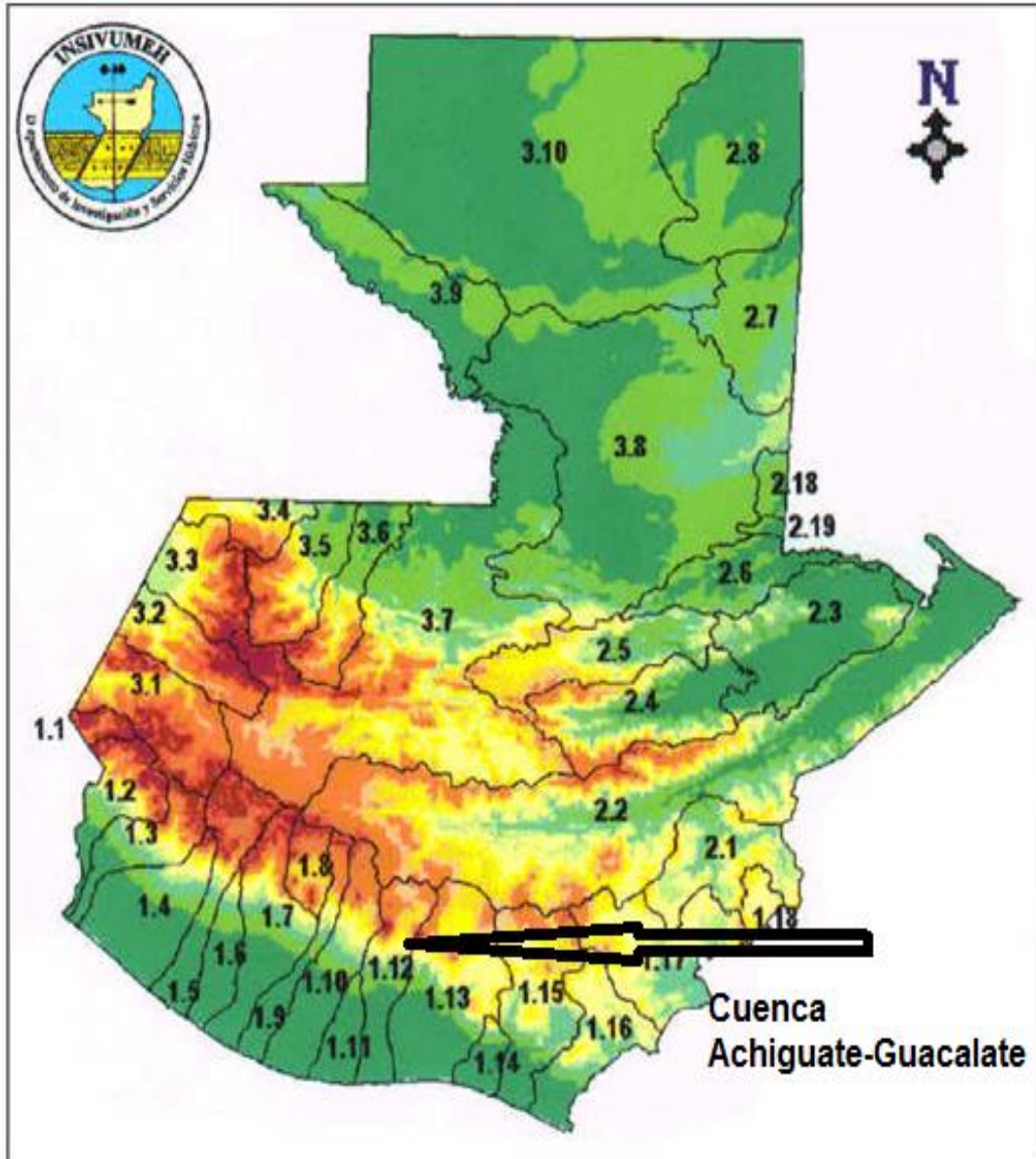
Las principales corrientes del río Achiguate-Guacalate son:

Tabla 4. **Corrientes del río Achiguate-Guacalate**

Río Achiguate-Guacalate	Río Guacalate	Río de la Virgen
		Río Negro
		Quebrada del Rastro
		Quebrada Tizate
		Río Pensativo
	Río Achiguate	Río Achiguate
		Río Ceniza
		Río Mazate

Fuente: elaboración propia con base en mapas cartográficos.

Figura 1. Mapa de cuencas hidrográficas de la República de Guatemala



Fuente: INSIVUMEH, febrero de 2018.

2.4 Geología

Predominan en la cuenca las rocas de origen volcánico y sedimentario, identificándose principalmente a nivel de reconocimiento los siguientes estratos:

- Cenizas gruesas y pómez.
- Rocas volcánicas como tobas, coladas de lava, material laharico y andesitas pertenecientes todas al período terciario.
- Rocas volcánicas del cuaternario.
- Aluviones del cuaternario.

2.5 Zonas de vida según MAGA

Tabla 5. Zonas de vida de la cuenca del río Achiguate-Guacalate

Zona de vida	Área Km ²	% del Área	Ubicación
Bosque húmedo sub tropical montano bajo	376.87	28.50	Montañas de Milpas Altas, cerros el Socó y Chimachoy, valles de Chimaltenango – El Tejar, Itzapa, Parramos y Antigua, y alrededor de la pendiente volcánica reciente.
Bosque muy húmedo sub tropical montano bajo	57.01	4.30	Cimas de los edificios volcánicos.
Bosque muy húmedo sub tropical (Cálido)	726.97	55.00	Desde el valle aluvial del Achiguate-Guacalate en Alotenango, falda sur de los edificios volcánicos y llanura aluvial hasta una latitud de 14° 03' aproximadamente.
Bosque húmedo sub tropical (Cálido)	130.40	9.90	Entre los paralelos 14° 03' y 13° 57' aproximadamente.
Bosque seco sub tropical	30.25	2.30	Pequeña franja desde los 13° 57' hasta la línea costera.

Fuente: ANLEU FORTUNY, Rafael Ignacio. *Zonificación de la cuenca del río Achiguate-Guacalate: una propuesta de integración de criterios para la reducción del riesgo a desastres.* P.39

3. DESARROLLO DEL MÉTODO

3.1 Desarrollo analítico del método

Para desarrollar el método, primeramente el coeficiente “C_{CH}” de Chezy se relacionó con el coeficiente “n” de Manning en la siguiente ecuación:

$$C_{CH} = \frac{1}{n} R_h^{1/6}$$

Donde:

R_h = Radio hidráulico (m)

n = Coeficiente de rugosidad de Manning (seg/m^{1/3})

C_{CH} = Coeficiente de Chezy

Para eliminar el coeficiente de Chezy “C_{CH}”, se iguala la anterior ecuación con esta otra expresión de “C_{CH}”:

$$c_{CH} = 18 \text{ Log} \left(\frac{12.2 R_h}{k} \right)$$

Donde:

k = Diámetro medio de las partículas de fondo.

Entonces, igualando “C_{CH}”:

$$\frac{1}{n} R_h^{1/6} = 18 \text{ Log} \left(\frac{12.2 R_h}{k} \right)$$

Se despeja “n”:

$$n = \left(\frac{R_h^{1/6}}{18 \text{ Log} \left(\frac{12.2 R_h}{k} \right)} \right) \quad \text{Ecuación 1}$$

Para obtener el modelo se multiplican ambos lados de la ecuación anterior por $K^{1/6}$

$$n K^{1/6} = \left(\frac{R_h^{1/6}}{18 \text{ Log} \left(\frac{12.2 R_h}{k} \right)} \right) K^{1/6}$$

Y despejando “n” se obtiene la siguiente ecuación:

$$n = \left[\frac{\left(\frac{R_h}{K} \right)^{1/6}}{18 \text{ Log} \left(\frac{12.2 R_h}{k} \right)} \right] K^{1/6}$$

$$\text{Si } \emptyset \left(\frac{R_h}{K} \right) = \left[\frac{\left(\frac{R_h}{K} \right)^{\frac{1}{6}}}{18 \text{ Log} \left(\frac{12.2 R_h}{k} \right)} \right] \quad \text{Ecuación 2}$$

Entonces se obtiene el modelo para “n”

$$n = \emptyset(R_h/K) K^{1/6} \quad \text{Ecuación 3}$$

3.2 Pasos para la aplicación del modelo

Con el modelo definido y con la información que proporciona cada estación de aforo se pueden efectuar los cálculos correspondientes para definir el modelo matemático de “n” para la cuenca del río, siguiendo los siguientes pasos:

- Cálculo preliminar de “n”
- Cálculo preliminar de “K”
- Cálculo de la relación R_h/K
- Cálculo de $\emptyset(R_h/K)$
- Gráfica de $\emptyset(R_h/K) - R_h/K$
- Se obtiene el valor medio de $\emptyset(R_h/K)$ de la gráfica
- Con el valor medio se propone el modelo para la cuenca:

$$n = \emptyset(R_h/K) K^{1/6}$$

3.2.1 Cálculo preliminar de “n”

Las estaciones de aforo proporcionan información hidráulica y geométrica que permite calcular un valor preliminar para el coeficiente “n” de la ecuación de Manning para cada aforo realizado.

Ecuación de Manning: $v = \frac{1}{n} * R_h^{2/3} * S^{1/2}$

Despejando n: $n = \frac{1}{v} * R_h^{2/3} * S^{1/2}$ *Ecuación 4*

Donde:

R_h = Radio hidráulico en m.

S = Pendiente en %

V = Velocidad en m/seg

n = Coeficiente de rugosidad en $\text{seg}/\text{m}^{1/3}$

3.2.2 Cálculo preliminar de “K”

Partiendo de la ecuación 1:

$$n = \left(\frac{R_h^{1/6}}{18 \text{Log} \left(\frac{12.2 R_h}{k} \right)} \right)$$

Se arregla de la siguiente manera:

$$\text{Log} \left(\frac{12.2 R_h}{k} \right) = \frac{R_h^{1/6}}{18n}$$

Para despejar “K”:

$$\frac{12.2 R_h}{k} = 10^{(R_h^{1/6}/18n)}$$

$$K = \frac{12.2 R_h}{10^{(R_h^{1/6}/18n)}} \quad \text{Ecuación 5}$$

Donde “R_h” se obtiene directamente de las estaciones de aforo y “n” se toma de la ecuación 4.

3.2.3 Relación R_h / K

“R_h” se obtiene directamente de las estaciones de aforo y “K” de la ecuación 5, que se calcula para cada aforo realizado.

3.2.4 Cálculo de Ø(R_h/K)

De la ecuación 2 se calcula Ø(R_h/K):

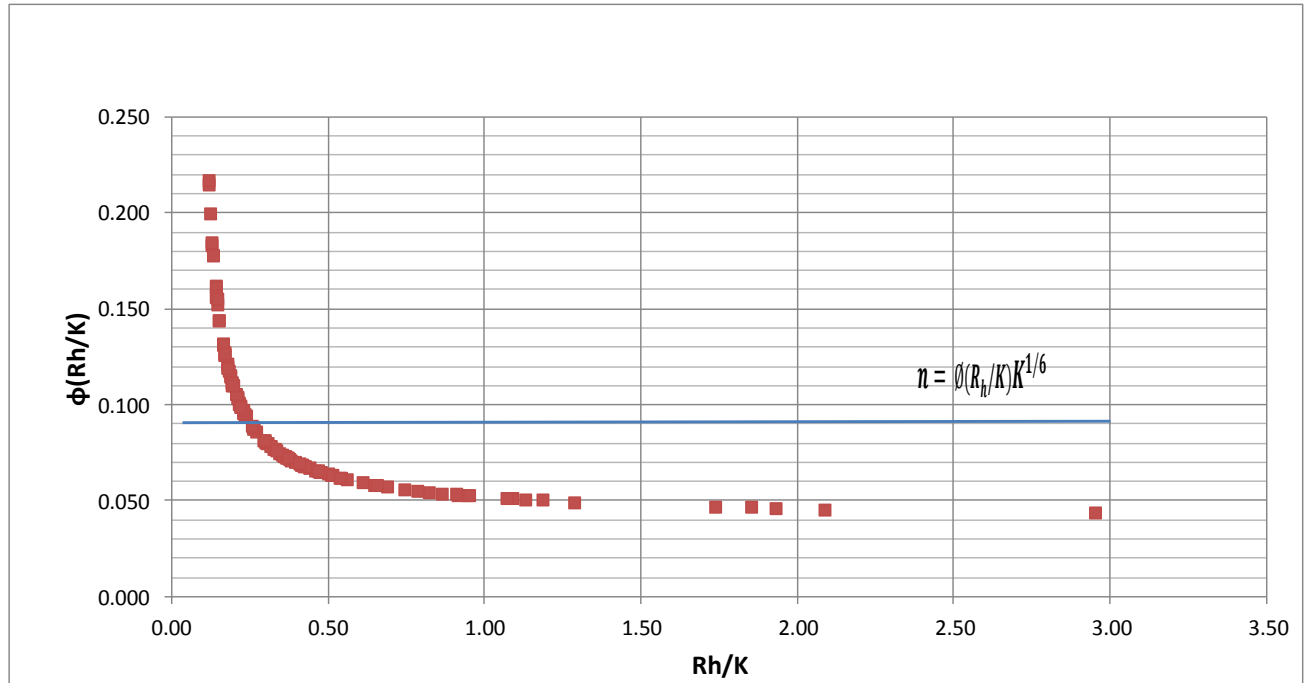
$$\text{Ø}(R_h/K) = \left[\frac{\left(\frac{R_h}{K}\right)^{1/6}}{18 \text{ Log } \left(\frac{12.2 R_h}{k}\right)} \right]$$

De donde ya se conocen “R_h” y “K”

3.2.5 Gráfica de Ø(R_h/K) - R_h/K

Se grafica colocando en el eje de las abscisas los valores obtenidos de Ø(R_h/K) y en el eje de las ordenadas R_h/K y se obtiene una curva similar a la siguiente:

Figura 2. Gráfica para determinar el modelo de “n”



Fuente: elaboración propia.

3.2.6 Propuesta del modelo matemático para “n”

En la bibliografía técnica se encuentra que en la representación gráfica de la figura 2, la función $\emptyset(R_h/K)$ no varía significativamente respecto de R_h/K , y puede aproximarse mediante el valor medio.

Por consiguiente, con el valor medio obtenido de la gráfica, el modelo matemático a proponer para el cálculo del coeficiente de rugosidad de Manning “n” tendrá la forma:

$$n = \emptyset(R_h/K)K^{1/6}$$

4. RECOPIACIÓN DE INFORMACIÓN

El Instituto Nacional de Sismología, Vulcanología, Meteorología e Hidrología (INSIVUMEH), a través del tiempo ha manejado seis estaciones de aforo dentro de la cuenca del río Achiguate-Guacalate. La información de cada estación de aforo es intermitente debido a que no se ha logrado mantener un programa continuo de aforos, debido especialmente a la escasez de recursos con que cuenta la institución. Se recopilaron 113 datos de aforos proporcionados por INSIVUMEH a partir del año 2002 hasta el año 2016 distribuidos dentro de las siguientes estaciones:

- Guacalate
- Alotenango
- San Luis Las Carretas
- San Juan Gascón
- Alotenango II
- Cenizas

Algunas de estas estaciones ya no están en operación motivo por el cual no se pudo obtener bastante información. La cantidad de datos que se obtuvo por estación se detallan en la siguiente tabla.

Tabla 6. **Cantidad de aforos realizados por estación**

ESTACIÓN	Achiguate-Guacalate	Alotenango	San Luis Las Carretas	San Juan gascón	Alotenango II	cenizas
AFOROS	6	15	27	27	3	36

Fuente: elaboración propia con datos de INSIVUMEH.

4.1 Identificación de estaciones de aforo

Las anteriores estaciones se ubican de acuerdo a las siguientes coordenadas geodésicas con sus respectivas elevaciones sobre el nivel del mar.

Tabla 7. **Ubicación de las estaciones de aforo**

Estación	Latitud	Longitud	Elevacion msnm
Achiguate-Guacalate	14° 15' 46"	90° 48' 51"	280.00
Alotenango	14° 28' 56"	90° 48' 26"	1350.00
San Luis Las Carretas	14° 35' 47"	90° 45' 47"	1580.04
San Juan Gascón	14° 33' 50"	90° 42' 9"	1671.00
Alotenango II	14° 29' 33"	90° 48' 32"	1370.00
Cenizas	14° 16' 10"	90° 53' 28"	160.00

Fuente: elaboración propia con datos de INSIVUMEH.

4.2 Datos geométricos e hidráulicos

Los datos geométricos corresponden al área y perímetro mojado de la sección, mientras los datos hidráulicos corresponden a la velocidad y el caudal que se presente en cada sección el día y hora aforados. Sin embargo, son de interés para el presente estudio únicamente el radio hidráulico y la velocidad. La totalidad de los datos de aforo se presentan en el anexo 1.

4.3 Pendientes sobre el cauce del río

La pendiente afecta directamente la velocidad en un canal, tal y como se expresa en la ecuación de Manning. La pendiente del cauce en cada estación hidrométrica se determinó utilizando los mapas 1:50,000 del Instituto Geográfico Nacional y estas se describen en la siguiente tabla.

Tabla 8. **Pendientes donde se ubican las estaciones de aforo**

Estación	Hoja Cartográfica	Pendiente %
Guacalate	Escuintla	2.29
Alotenango	Alotenango	3.33
San Luis Las Carretas	Chimaltenango	0.80
San Juan Gascón	Ciudad de Guatemala	5.71
Alotenango II	Alotenango	1.43
Cenizas	Escuintla	1.00

Fuente: elaboración propia.

5. MODELO PARA EL COEFICIENTE DE RUGOSIDAD

Para obtener el modelo para “n”, se desarrolló en el capítulo 3 el proceso analítico del método que propone que $n = \emptyset(R_h/K)K^{1/6}$. El método pretende obtener un valor medio para $\emptyset(R_h/K)$, que representa la constante del modelo, y “K”, que será el valor por investigar en campo y que representa la altura de rugosidad media del material de fondo del cauce. Esta rugosidad media se obtiene del análisis granulométrico que se realice en el punto de interés donde se quiere obtener el valor para la rugosidad de Manning.

El procedimiento establecido en el capítulo 3, inciso 3.2 es el siguiente:

- Cálculo preliminar de “n”
- Cálculo preliminar de “K”
- Cálculo de la relación R_h/K
- Cálculo de $\emptyset(R_h/K)$
- Grafica de $\emptyset(R_h/K) - R_h/K$
- Se obtiene el valor medio de $\emptyset(R_h/K)$ de la gráfica
- Con el valor medio se propone el modelo de $n = \emptyset(R_h/K)K^{1/6}$.

5.1 Aplicación del método

Para ejemplificar el proceso de cálculo establecido, se utilizó la estación San Luis Las Carretas, cuyos datos para el 11 de julio de 2002 son los siguientes:

$$R_h = 0.165 \text{ m}$$

$$V = 0.50 \text{ m/seg}$$

$$S = 0.80 \%$$

Los siguientes pasos se realizan para todos y cada uno de los aforos realizados en todas las estaciones ubicadas en la cuenca del río. Posteriormente, con todos los datos calculados, se grafica $\emptyset(R_h/K) - R_h/K$ y se obtiene el valor medio de $\emptyset(R_h/K)$.

5.1.1 Cálculo preliminar de n

Siguiendo la metodología propuesta en el capítulo tres, el primer paso es calcular un valor preliminar de “n” para cada aforo realizado utilizando la ecuación 4:

$$n = \frac{1}{v} * R_h^{2/3} * S^{1/2}$$

$$n = \frac{1}{0.50} * 0.166^{2/3} * 0.0080^{1/2} = 0.055$$

5.1.2 Cálculo del valor de la altura de rugosidad “K”

Luego de relacionar las ecuaciones de Chezy y de Manning, se obtiene la siguiente ecuación para el cálculo de “K”, de acuerdo al procedimiento ya establecido según ecuación 5:

$$K = \frac{12.2 R_h}{10^{(R_h^{1/6}/18n)}}$$

$$K = \frac{12.2*0.17}{10^{(0.166^{(1/6)}/18*0.055)}} = 0.349$$

5.1.3 Cálculo de la relación (R_h/K)

$$R_h/K = \frac{0.166}{0.349} = 0.475$$

5.1.4 Cálculo de $\emptyset(R_h/K)$

$\emptyset(R_h/K)$, se calcula de la Ecuación 2

$$\emptyset(R_h/K) = \left[\frac{\left(\frac{0.166}{0.349}\right)^{1/6}}{18 \text{Log}\left(\frac{12.2 * 0.166}{0.349}\right)} \right] = 0.064$$

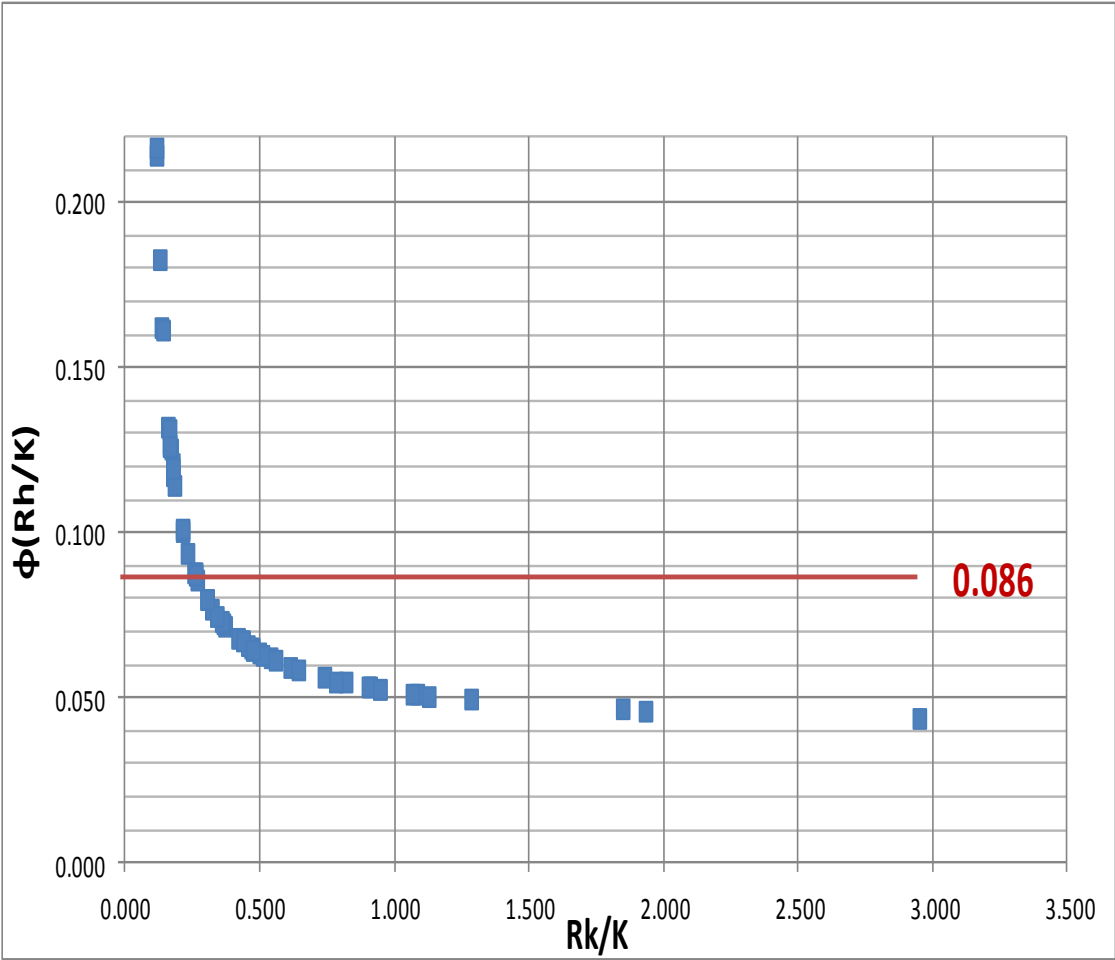
5.2 Resultados

Para analizar los resultados, se dividió estos en dos grupos de datos, un grupo que comprende del año 2002 al año 2010 y el otro grupo con datos del año 2011 a 2016. Finalmente se hizo un análisis con la totalidad de los datos (2002-2016) y en el apéndice 1 se presenta la tabla de resultados que se obtuvo mediante el procedimiento descrito en el inciso 5.1.

5.2.1 Para años 2002-2010

La gráfica que se obtiene para este conjunto de datos es la siguiente.

Figura 3. Gráfica de valor medio $\phi(R_h/K)$. Años 2002 a 2010



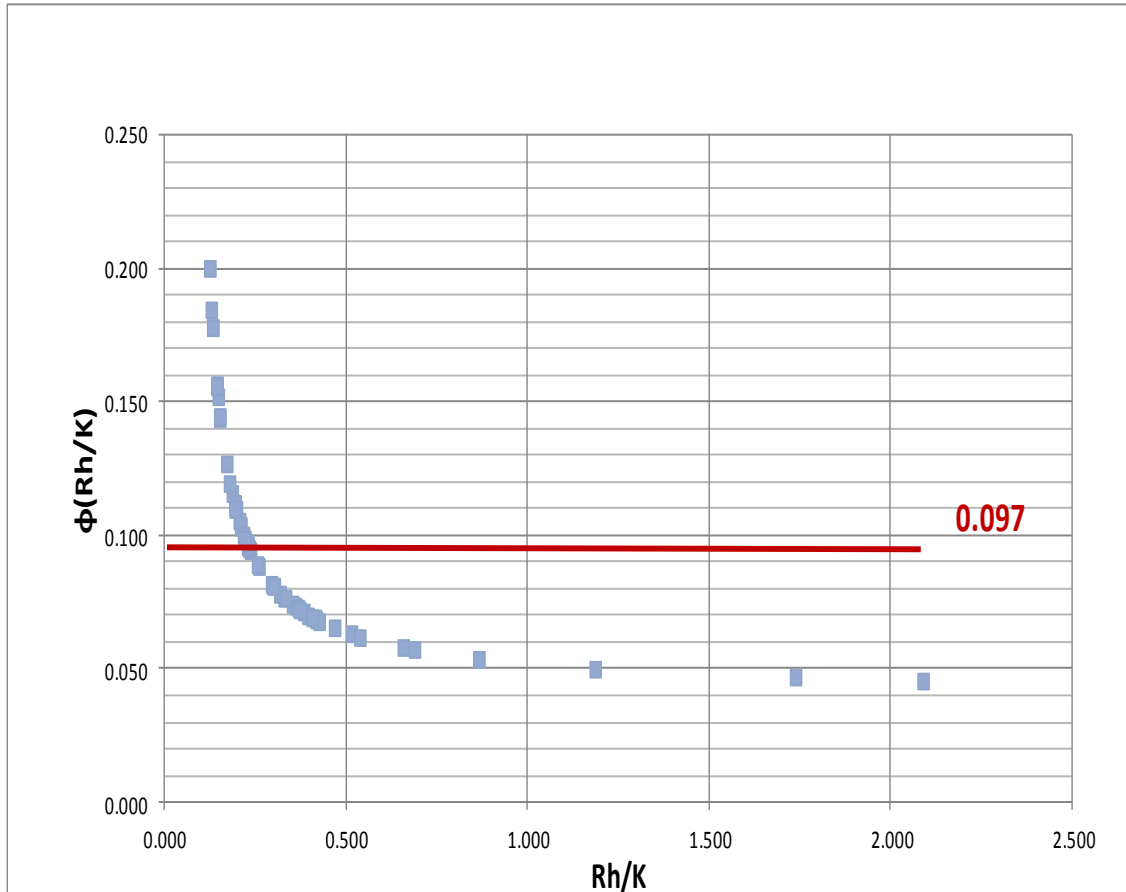
Fuente: elaboración propia.

El valor medio para $\phi(R_h/K)$ es 0.086

5.2.2 Para años 2011-2016

La gráfica que se obtiene para este conjunto de datos es la siguiente:

Figura 4. Gráfica de valor medio $\phi(R_h/K)$. Años 2011 a 2016



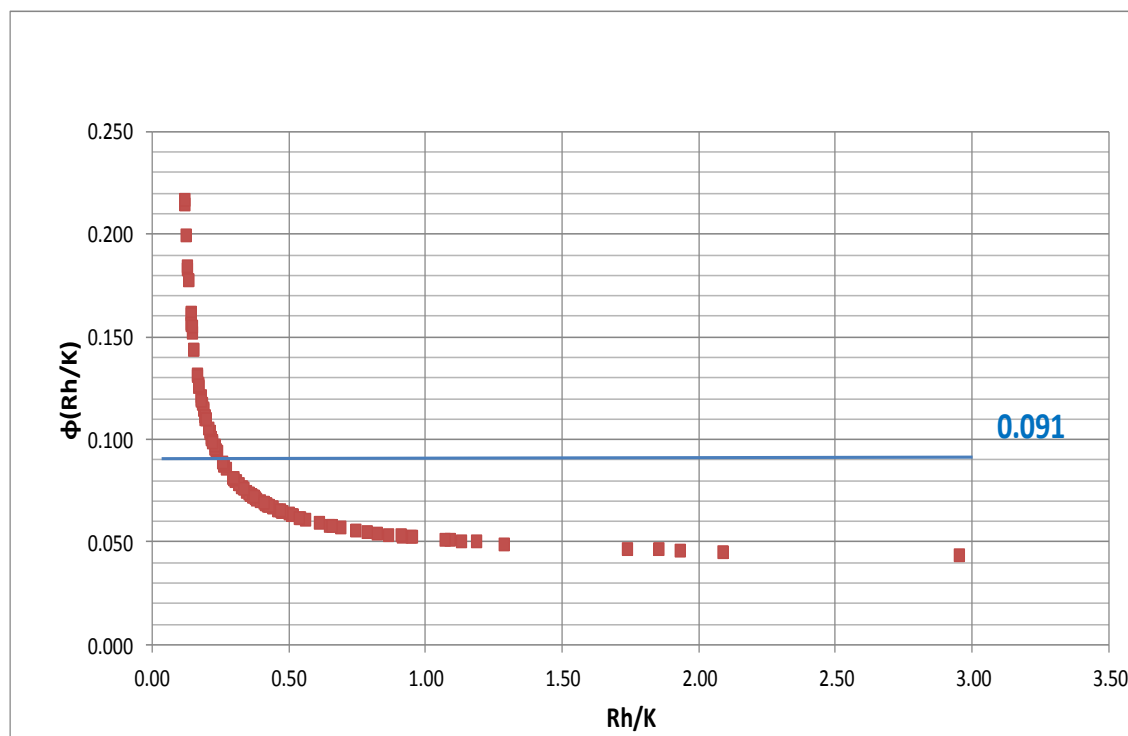
Fuente: elaboración propia.

El valor medio para $\phi(R_h/K)$ es 0.097

5.2.3 Para años 2002-2016

La gráfica que se obtiene para la totalidad de los datos es la siguiente:

Figura 5. Gráfica para determinar valor medio de $\phi(R_h/K)$ Años 2002-2016



Fuente: elaboración propia.

El valor medio para $\phi(R_h/K)$ es 0.091.

5.3 Análisis estadístico

Se determinaron las medidas de tendencia central y de dispersión para datos no agrupados y para el conjunto de datos que dieron como resultado los $\phi(R_h/K)$ para cada aforo realizado. Los cuadros de análisis se adjuntan en el apéndice 2 y los resultados se comentan a continuación.

5.3.1 Medidas de tendencia central

Se determinaron la Media, la Mediana y la Moda para el conjunto de datos obtenidos para $\emptyset(R_h/K)$. Los resultados se presentan en el siguiente cuadro.

Tabla 9. Valor de las medidas de tendencia central para $\emptyset(R_h/K)$

Media	0.091
Mediana	0.077
Moda	0.072

Fuente: elaboración propia.

5.3.2 Medidas de dispersión

Las medidas de dispersión entregan información sobre la variación de la variable. Pretenden resumir en un solo valor la dispersión que tiene un conjunto de datos. Las medidas de dispersión a utilizar son: desviación media, desviación estándar y varianza.

Desviación media (Dx):

$$Dx = \frac{\sum_{i=1}^n |Xi - \bar{X}|}{n}$$

$$Dx = \frac{3.511}{113} = 0.031$$

Desviación estándar(S):

$$S = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n [Xi - \bar{X}]^2}{n}}$$

$$S = \sqrt{\frac{0.174}{113}} = 0.039$$

Varianza (S²):

$$S^2 = \frac{\sum_{i=1}^n [X_i - \bar{X}]^2}{n}$$

$$S^2 = \frac{0.174}{113} = 0.002$$

5.3.3 Interpretación estadística

Si se toma en cuenta la desviación estándar obtenida se encuentra que el 77 % de los datos se encuentran alrededor de la media, el 14 % fuera de la media hacia valores altos y el 9 % se encuentra fuera de la media hacia valores bajos. Si se eliminan los datos fuera de la desviación estándar, el valor medio que se obtiene para $\emptyset(R_h/K)$ es de 0.082.

Los límites de la desviación estándar para $\emptyset(R_h/K)$ son entonces:

- Límite inferior = 0.052
- Media = 0.091
- Límite superior = 0.130

Abajo del límite inferior hay 10 datos (9%), encima del límite superior hay 16 datos (14%) y cercanos a la media hay 87 datos (77%) (ver apéndice 2).

5.4 Propuesta del modelo

Considerando entonces que un alto porcentaje (77%) de los datos se encuentra dentro de la media según la desviación estándar, se interpreta que la dispersión de datos no es considerable y, por consiguiente, se tomará en cuenta para la propuesta del modelo la totalidad de los datos, los cuales proporcionan la siguiente ecuación:

$$n = 0.091 K^{1/6}$$

En el siguiente capítulo se obtendrá el valor para “n” en tres puntos diferentes sobre la cuenca del río Achiguate-Guacalate, haciendo el análisis granulométrico del material recopilado en los puntos escogidos.

6. VALIDACIÓN DEL MODELO

Para validar el modelo propuesto $n = 0.091 K^{1/6}$ es necesario conocer “K”, que representa la altura de rugosidad media del fondo del río.

Para poder realizar los muestreos granulométricos y determinar la altura de rugosidad se tomó en cuenta las metodologías existentes, las cuales varían según el tipo de material del cauce. La toma de muestras granulométricas en ríos aluviales es el punto de partida en cualquier estudio sobre dinámica fluvial y para el caso del presente estudio es básico y fundamental escoger el procedimiento adecuado acorde al tipo de material encontrado. Los resultados que se obtengan a partir de la granulometría de las muestras seleccionadas serán utilizados en el cálculo de la resistencia al flujo aplicando el modelo propuesto en el presente estudio. A continuación se explican los métodos existentes para el muestreo granulométrico.

6.1 Métodos de muestreo del material de fondo

Existen varias instituciones u organismos oficiales encargados de dictar los lineamientos y metodologías para la toma de muestras granulométricas, como la British Standard Institution (BS, 1975), la American Society for Testing Materials (ASTM, 1978) y la International Standard Organization (ISO, 1977).

Lamentablemente estas metodologías propuestas no están bien definidas, ya que en ellas no se suministra información sobre el lugar de muestreo, el tamaño de la muestra o el número de muestras necesarias para una correcta caracterización. Las metodologías propuestas por estos organismos centran

además su atención en ríos con lechos de arena, mucho más fáciles de caracterizar granulométricamente por la homogeneidad de tamaños.

En un río con lecho de gravas, que contiene un tamaño medio superior a los 2 milímetros, las dificultades son mayores: presenta un amplio rango de fracciones granulométricas, una alta variabilidad espacial y temporal en la distribución de las formas del lecho, y unas variaciones verticales de sedimento acumulado a través del lecho que corresponden con el desarrollo de una capa superficial diferente del material subyacente o subsuperficial.

Obviar estos factores conduce a la obtención de resultados erróneos y en algunos casos a comparar muestras recogidas con métodos diferentes. Los muestreos pueden ser superficiales, subsuperficiales y profundos, sin embargo, para el material del fondo del cauce se hará hincapié únicamente en los tipos de muestreo superficial.

El muestreo superficial consiste en la extracción de la primera capa del lecho, es decir, todas las partículas expuestas en superficie al flujo de agua. En la mayoría de los casos el grosor de esta capa viene definido por la profundidad a la cual llega la partícula más grande expuesta. El espesor que se debe extraer también depende del método utilizado.

6.1.1 Muestreo para $D \geq 2$ mm:

Para este diámetro de partículas de fondo se utiliza el método gráfico. Este método se utiliza especialmente para material con gravas gruesas y rocas, delimitando un área representativa del fondo del cauce calculada mediante la fórmula de Diplas y Fripp $\text{área} \geq 100D_{\text{max}}^2$

El procedimiento se describe a continuación:

- Selección de un sitio representativo de los diferentes tamaños de materiales encontrados.
- Se clasifica cada grava o roca por tamaño. Ejemplo, $\geq 7\text{cm}$, 6cm , 5cm , 4cm , 3cm , 2cm , $\leq 1\text{cm}$.
- Se calcula el área representativa de acuerdo al diámetro máximo:
 $A \geq 100D_{\text{max}}^2$.
- Se utiliza un marco de $50\text{cm} \times 50\text{cm}$ o de $100\text{cm} \times 100\text{cm}$ de acuerdo al cálculo del área representativa.
- Toma de fotografía digital normal al lecho, para evitar distorsión en la escala.
- Se aproxima la forma de cada grava o roca a una forma conocida (elipse, círculo, rectángulo o cuadrado) y se mide el eje medio de cada una.
- Se calcula el área de cada tamaño según clasificación realizada y se suma el área de cada grupo.
- Se elabora un cuadro con la sumatoria del área de cada grupo según tamaño. La suma de las gravas $\leq 1\text{cm}$ se obtiene de la diferencia del área total (A_T) menos la sumatoria del resto de áreas.
- Se calcula el porcentaje de cada grupo de tamaños respecto del área total.

6.1.2 Muestreo para $D < 2 \text{ mm}$

- Muestras alteradas: son aquellas que están constituidas por el material disgregado o fragmentado, en las que no se toman precauciones especiales para conservar las características de estructura y humedad; no obstante, en algunas ocasiones conviene conocer el contenido de agua original del suelo, para lo cual las muestras se envasan y transportan en forma adecuada.
- Muestras inalteradas: son aquellas en las que se conserva la estructura y la humedad que tiene el suelo en el lugar donde se obtenga la muestra. Las muestras inalteradas se obtendrán de suelos finos que puedan labrarse sin que se disgreguen. La obtención se efectúa en la superficie del terreno natural o fondo del río. La extracción para obtener la muestra deberá ser de dimensiones tales que permitan las operaciones de labrado y extracción de la misma.
- Procedimiento de muestreo: el peso mínimo de la muestra será de 40 kg., que es la cantidad de suelo que comúnmente se requiere para realizar las pruebas en materiales; esta cantidad deberá obtenerse de una muestra representativa mediante el procedimiento de cuarteo. El espaciamiento de los sondeos y el número de muestras que se tomen deberán estar de acuerdo con la homogeneidad del suelo y el tipo de estudio de suelo de que se trate.

En suelos que presenten pocas variaciones en sus características, el espaciamiento de los sondeos será mayor que en los suelos heterogéneos.

Igualmente, en los estudios preliminares el espaciamiento será mayor que en los estudios definitivos

6.2 Ubicación de los puntos de muestreo granulométrico

Los puntos considerados para muestrear el material de fondo se ubican en las siguientes coordenadas:

Tabla 10. **Ubicación de puntos de muestreo granulométrico**

PUNTO	LATITUD	LONGITUD	ELEVACION (msnm)
Alotenango	14° 29' 33"	90° 48' 32"	1370
Ciudad Vieja	14° 31' 37"	90° 46' 00"	1485
Pastores	14° 35' 24"	90° 45' 04"	1540

Fuente: elaboración propia.

- Muestreo granulométrico en Alotenango, Sacatepéquez:

Este muestreo se realizó justo donde se ubica la estación de aforo denominada Alotenango II, cuya exacta ubicación se indica en la tabla 10, a un costado del municipio del mismo nombre, en el departamento de Sacatepéquez, bajo uno de los puentes que une la ruta nacional R-14 entre Chimaltenango y Escuintla:

- Muestreo granulométrico en Ciudad Vieja, Sacatepéquez:

Este muestreo se realizó a un costado del municipio del mismo nombre, en el departamento de Sacatepéquez, cuya exacta ubicación se indica en la tabla 10, bajo uno de los puentes en una de las entradas al municipio de Ciudad Vieja, partiendo de la ruta nacional R-14 entre Chimaltenango y Escuintla.

- Muestreo granulométrico en Pastores, Sacatepéquez:

Este muestreo se realizó sobre la ruta nacional R-14 entre Chimaltenango y Escuintla, a la altura de los municipios de Jocotenango y Pastores, en el departamento de Sacatepéquez, cuya exacta ubicación se indica en la tabla 10.

6.3 Características de los puntos muestreados

- Alotenango: las características granulométricas del cauce en este punto son de mucha roca y bloques de considerable tamaño. Al subir el nivel se nota claramente que el valor de “n” se verá influenciado por la vegetación que se encuentra a cada costado del cauce. Otra característica importante es que este punto se ubica en una recta del río, lo que ayuda a disminuir el valor de “n”. En el apéndice 6, Foto 1, puede observarse las características del cauce en este punto.

El muestreo granulométrico para este punto se hará por un procedimiento combinado de acuerdo a la metodología descrita, ya que existen partículas con rangos mayores y menores a los 2 mm de diámetro.

- Ciudad Vieja: las características de este punto muestreado son de escasa roca y bloques, predominando el material fino menor a 2 mm con abundante vegetación a los lados, sobre un canal bastante estrecho que fue reconformado posteriormente al fenómeno meteorológico del Mitch en el año 2000. El punto muestreado se encuentra al igual que el punto anterior en línea recta. En el apéndice 6, Foto 2, puede observarse las características del cauce en este punto.

El muestreo granulométrico para este punto considera la metodología para material fino menor a 2 mm de diámetro.

- Pastores: las características de este punto de muestreo son de bastante canto rodado aunque no al nivel de rocas y bloques. Se observa una pequeña represa previa a pasar por el punto muestreado, lo que disminuye la velocidad del río al pasar por este punto. Otra característica de este punto es la abundante cantidad de basura dentro del cauce, lo que tiende a incrementar la rugosidad del mismo, aumentando el valor de “n”. El punto muestreado se ubica también en línea recta. En el apéndice 6, Foto 3, puede observarse las características del cauce en este punto.

El muestreo granulométrico para este punto considera la metodología para material fino menor a 2 mm de diámetro.

6.4 Resultado de los muestreos

La toma de muestras de material del fondo del cauce para los puntos escogidos se realizó tomando en cuenta la metodología recomendada para las características de cada cauce, de modo que para la muestra identificada como Alotenango, se utilizó la combinación de procedimientos para partículas mayores a 2 mm y para partículas menores a estos 2 mm de diámetro.

Para las muestras identificadas como Ciudad Vieja y Pastores, se tomó las muestras siguiendo el procedimiento para material menor a 2 mm, aunque una pequeña parte de los mismos sobrepasan este diámetro. Aunque existe material mayor a los 2 mm, el porcentaje es bastante bajo y el cauce se ve representado por material menor a este diámetro.

6.4.1 Granulometría en Alotenango

Siguiendo el procedimiento para partículas mayores a 2 mm se tiene que, luego de seleccionado el sitio, se procedió a clasificar el tamaño de las rocas y gravas, calculándose el área representativa de acuerdo al mayor diámetro encontrado dentro del cauce, siendo este de 30 cms. De manera que el área representativa que está dada por $A \geq 100D_{\max}^2$ es:

$$A \geq 100 (0.30)_{\max}^2 = 9 \text{ m}^2$$

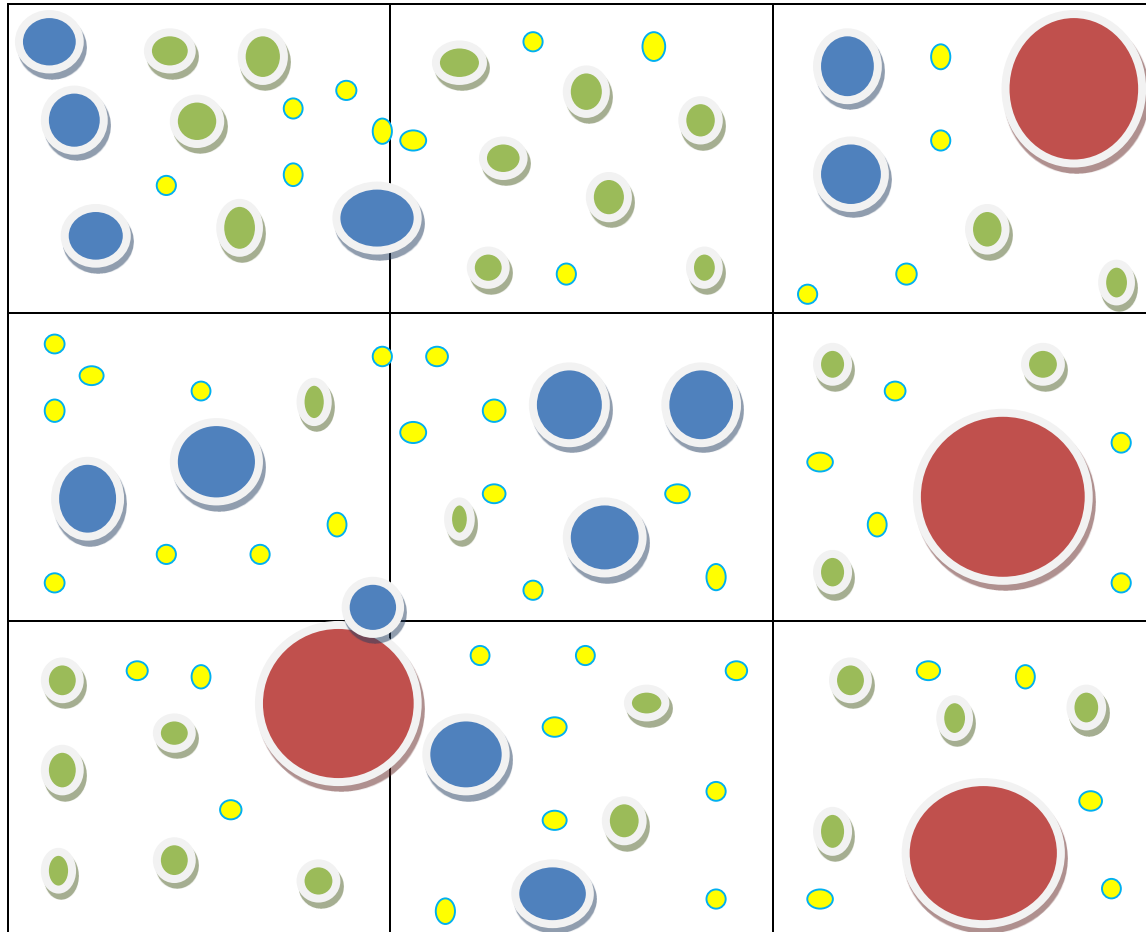
Figura 6. Granulometría del cauce en Alotenango



Fuente: elaboración propia.

Por consiguiente, escogiendo un área de 3 x 3 metros dentro del cauce del río, se llegó a determinar fotográficamente, siguiendo la recomendación del método (Figura 6), de que las partículas mayores representativas de este punto y sus respectivas áreas se distribuyen de acuerdo al modelo de la Figura 7.

Figura 7. Simulación de granulometría de cauce en Alotenango



Fuente: elaboración propia.

Simbología:

Diámetro > 300 mm		300 < Diámetro > 200	
100 < Diámetro > 200		50 < Diámetro > 100	

Las áreas que corresponden al total por cada diámetro se muestran en el siguiente cuadro:

Tabla 11. **Áreas por diámetro de cauce en Alotenango**

Diámetro (mm)	Cantidad	Area (m²)
300	4	0.28
200	14	0.44
100	30	0.24
50	50	0.10

Fuente: elaboración propia.

El área para estos diámetros mayores es de 1.06 y, por diferencia, el área representativa del material fino es de 7.94 m², a la cual se le realizó el análisis granulométrico con tamices y lavado previo, siguiendo la norma ASTM D 6913-04, en el Centro de Investigaciones de la Facultad de Ingeniería de la Universidad de San Carlos de Guatemala. Esta norma analiza materiales con diámetros que varían desde el tamiz de 3" (75mm) hasta el tamiz No. 200 (75 μ m), siguiendo el procedimiento de muestreo descrito en este capítulo sección 6.1.2 para material inalterado $D < 2$ mm.

Sin embargo, es necesario combinar el muestreo del material fino con las gravas y elaborar una curva granulométrica con ambos materiales, misma que sea representativa de todo el material de fondo. Combinar los resultados entre el material fino con el material de gravas da como resultado una curva granulométrica basada en la siguiente tabla:

Tabla 12. **Análisis granulométrico en Alotenango incluyendo gravas**

Diámetro (mm)	Área (m²)	%	% que pasa
400.000		0	100.00
300.000	0.28	3.14	96.86
200.000	0.44	4.88	91.98
100.000	0.24	2.62	89.36
50.000	0.10	1.09	88.27
9.500	0.00	0.05	88.22
4.750	0.00	0.05	88.17
2.000	0.02	0.25	87.92
0.850	0.15	1.65	86.28
0.425	0.87	9.66	76.62
0.250	2.67	29.67	46.95
0.150	1.29	14.33	32.62
0.106	0.57	6.36	26.25
0.075	0.91	10.14	16.11

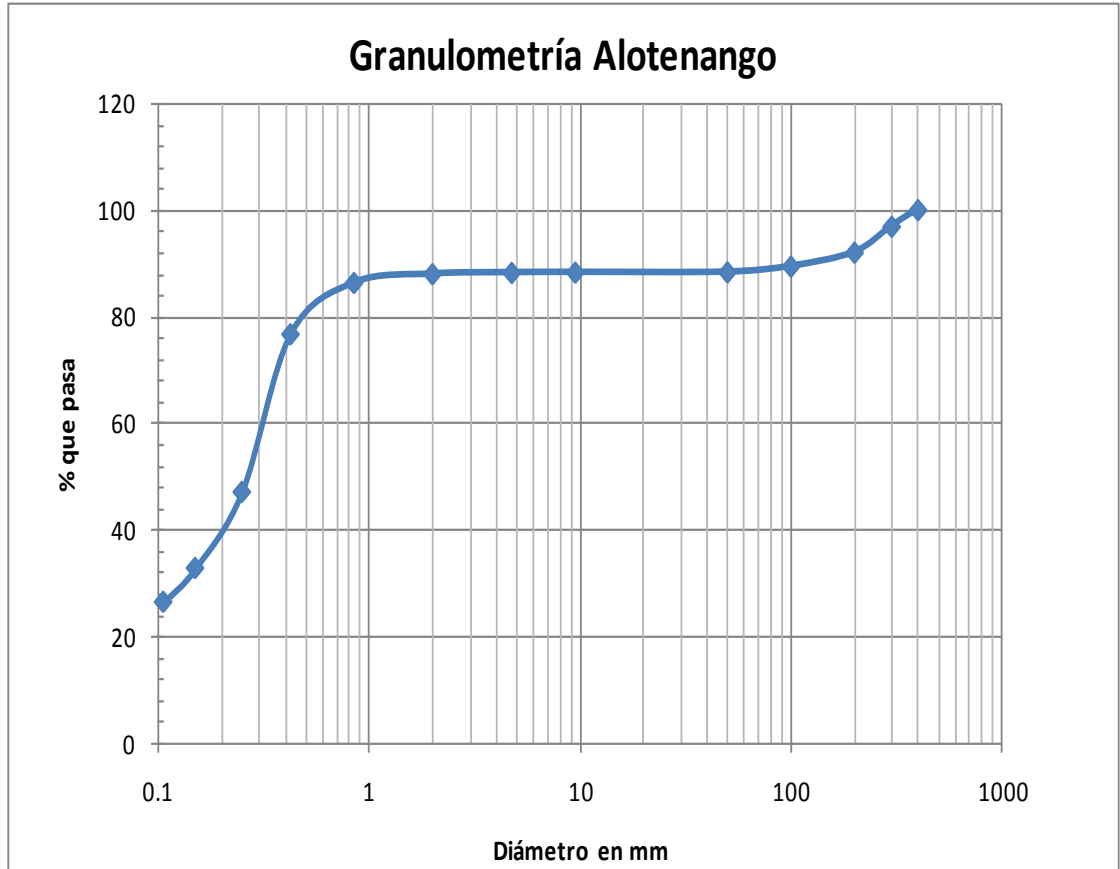
Fuente: elaboración propia.

Con base en esta tabla se puede determinar las características del cauce en este punto, con los siguientes porcentajes de gravas, arenas y finos:

Grava 11.83 % Arena 72.05 % Finos 16.11 %

La curva granulométrica generada tomando en cuenta el material mayor a los 2 mm se muestra a continuación:

Figura 8. Curva granulométrica en Alotenango



Fuente: elaboración propia con datos del Centro de Investigaciones de Ingeniería.

Para este estudio es de interés determinar el D_{50} de la curva granulométrica, en donde se puede observar que el diámetro medio es 0.27 mm.

6.4.2 Granulometría en Ciudad Vieja

La granulometría predominante en este punto es de materiales finos con cierta cantidad de gravas, habiéndose seguido el procedimiento para este tipo de materiales de acuerdo a la norma ASTM D 6913-04 en el Centro de

Investigaciones de la Facultad de Ingeniería de la Universidad de San Carlos de Guatemala.

De acuerdo a la curva granulométrica para este sitio (Figura 9), se concluye que el suelo es arena con presencia de gravas y el porcentaje que representa cada categoría es el siguiente:

Grava 12.59 % Arena 84.14 % Finos 3.28 %

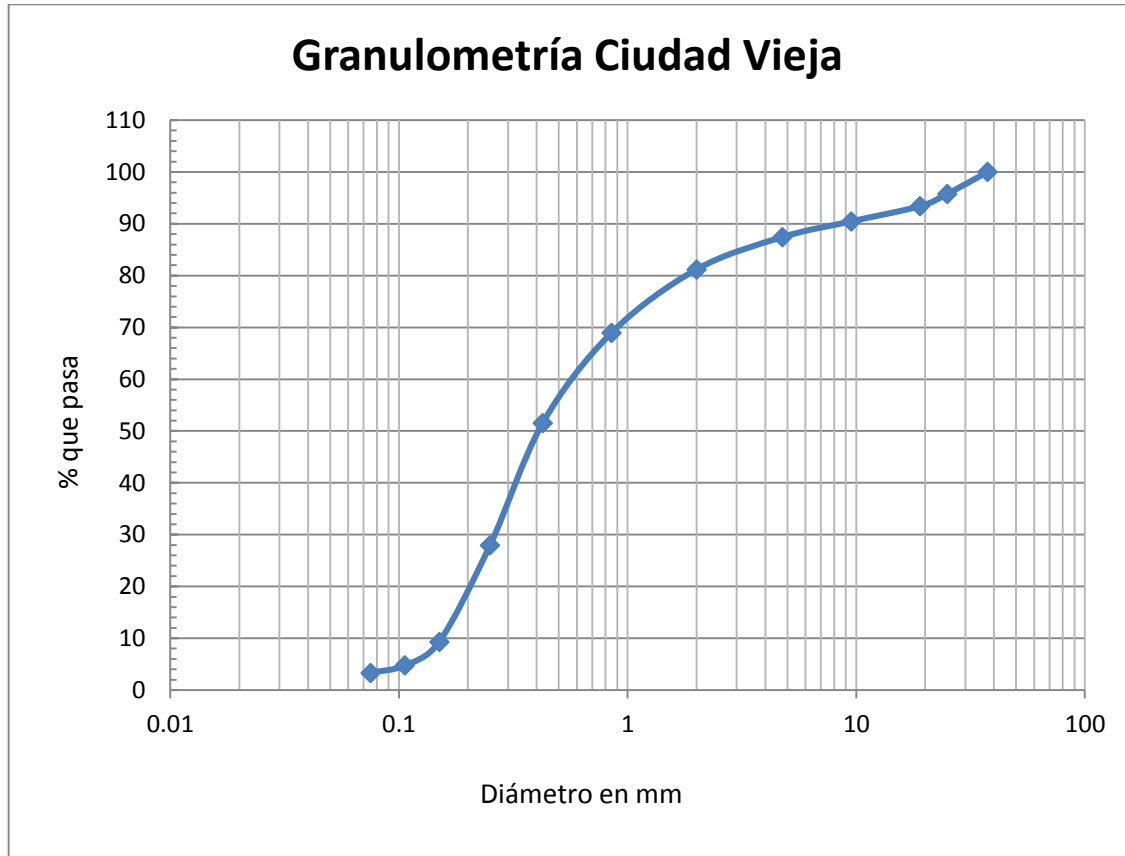
El siguiente cuadro muestra los resultados del análisis granulométrico efectuado, mismo que da origen a la curva granulométrica.

Tabla 13. Análisis granulométrico en Ciudad Vieja

Diámetro (mm)	% que pasa
37.500	100.00
25.000	95.75
19.000	93.37
9.500	90.44
4.750	87.41
2.000	81.17
0.850	68.93
0.425	51.51
0.250	27.91
0.150	9.29
0.106	4.73
0.075	3.28

Fuente: elaboración propia con datos del Centro de Investigaciones de Ingeniería.

Figura 9. Curva granulométrica en Ciudad Vieja



Fuente: elaboración propia con datos del Centro de Investigaciones de Ingeniería.

El D_{50} de acuerdo a la curva observada es de 0.41 mm y servirá para determinar el valor de “n” en este punto.

6.4.3 Granulometría en Pastores

La granulometría predominante en este punto es de materiales finos con escasa cantidad de gravas, habiéndose seguido el procedimiento para este tipo de materiales de acuerdo a la norma ASTM D 6913-04 en el Centro de

Investigaciones de la Facultad de Ingeniería de la Universidad de San Carlos de Guatemala.

De acuerdo a la curva granulométrica para este sitio (Figura 10), se concluye que el suelo es arenoso y el porcentaje que representa cada categoría es:

Grava 0.13 % Arena 89.84 % Finos 10.03 %

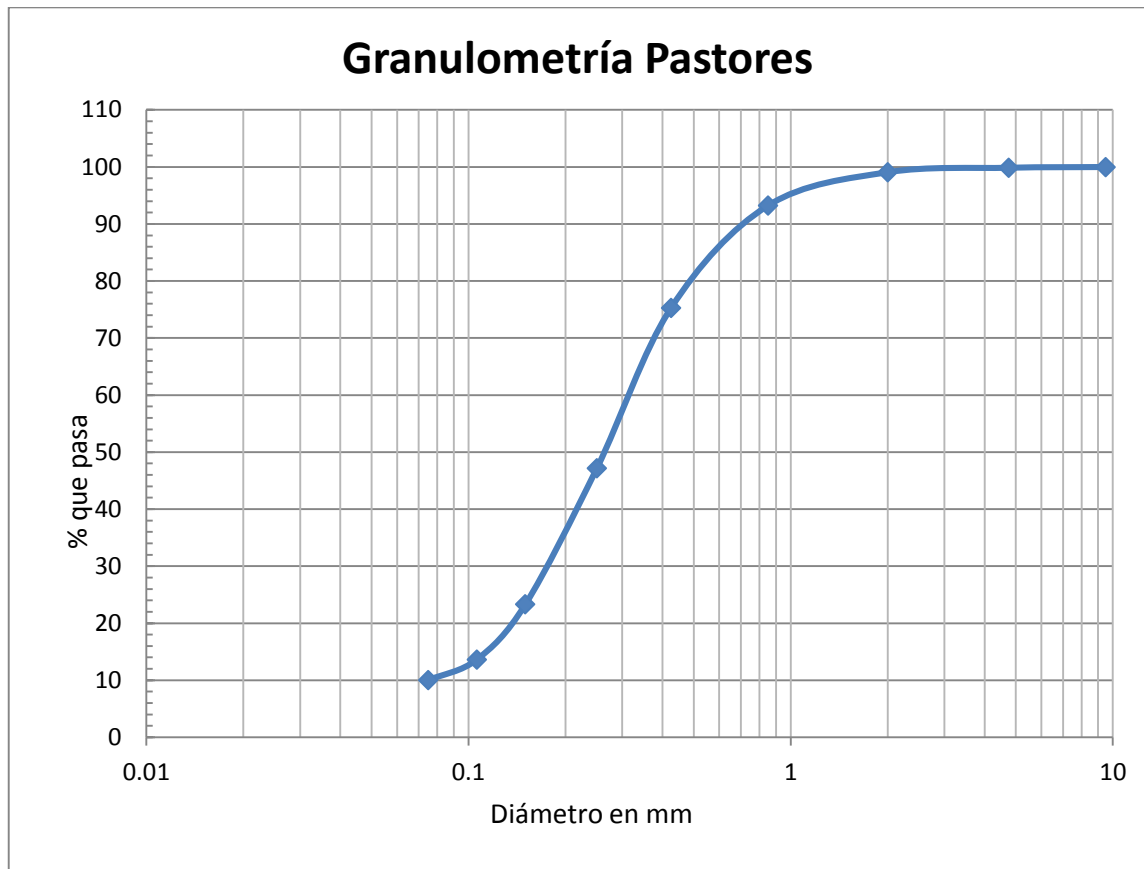
El siguiente cuadro muestra los resultados del análisis granulométrico efectuado, mismo que da origen a la curva granulométrica:

Tabla 14. Análisis granulométrico en Pastores

Diámetro (mm)	% que pasa
9.500	100.00
4.750	99.87
2.000	99.09
0.850	93.25
0.425	75.31
0.250	47.17
0.150	23.32
0.106	13.64
0.075	10.03

Fuente: elaboración propia con datos del Centro de Investigaciones de Ingeniería.

Figura 10. Curva granulométrica en Pastores



Fuente: elaboración propia con datos del Centro de Investigaciones de Ingeniería.

El D_{50} de acuerdo a la curva observada es de 0.27 mm y servirá para determinar el valor de “n” en este punto.

6.5 Aplicando el modelo

Con los resultados de los análisis granulométricos en los puntos escogidos se puede aplicar el modelo determinado en el presente estudio para encontrar el valor del coeficiente de rugosidad de Manning.

Datos:

Alotenango $K = D_{50} = 0.27$

Ciudad Vieja $K = D_{50} = 0.41$

Pastores $K = D_{50} = 0.27$

El modelo propone tomar el diámetro medio D_{50} de cada análisis granulométrico como la altura de rugosidad "K":

$$n = 0.091 K^{1/6}$$

Alotenango $n = 0.091 (0.27)^{1/6} = 0.073$

Ciudad Vieja $n = 0.091 (0.42)^{1/6} = 0.078$

Pastores $n = 0.091 (0.27)^{1/6} = 0.073$

Para datos correspondientes únicamente para esta década (2011-2016) el modelo propuesto es:

$$n = 0.097 K^{1/6}$$

Alotenango $n = 0.097 (0.27)^{1/6} = 0.078$

Ciudad Vieja $n = 0.097 (0.42)^{1/6} = 0.084$

Pastores $n = 0.097 (0.27)^{1/6} = 0.078$

7. OTROS MÉTODOS PARA DETERMINAR “N”

Para calcular el coeficiente de rugosidad “n” se dispone de algunos métodos visuales, como las tablas publicadas por el U.S Department of Agriculture en 1955 o los estudios de Chow en 1959, así como una serie de fotografías que muestran valores típicos del coeficiente “n” para un determinado tipo de canal.

También existen los métodos analíticos como el de Manning, el método de área-velocidad y el método que utiliza la curva de descarga.

7.1 Métodos visuales a través de tablas

Desde hace tiempo se ha analizado diferentes situaciones de flujo para establecer una relación entre las características físicas de los cauces y márgenes con valores representativos del coeficiente de Manning.

- Ven Te Chow:

Una de las tablas más reconocidas es la que propone Ven Te Chow en *Hidráulica de canales abiertos*. Estas tablas son bastante completas, ya que considera una gran cantidad de posibilidades de revestimiento y de tipos de canales abiertos.

Todas las secciones donde se ubican las estaciones de aforo no pasan de los 100 pies (30 metros), por lo que se toma de base la sección D1 de la tabla de Ven Te Chow (Tabla 15), que caracteriza tramos limpios, rectos, sin montículos

ni pozos profundos con piedras y malezas, sugiriendo un valor de “n” entre 0.030 y 0.040. Según esto y de acuerdo a las características de los puntos muestreados, donde se observa que los tramos no son del todo limpios, “n” puede tener un valor de 0.40.

Tabla 15 Ven Te Chow. Propuesta de valores de “n”

D. Corrientes Naturales

D.1 Corrientes menores (ancho superficial en nivel creciente < 100’

a. Corrientes en planicies.

No	Tipo de canal y descripción	Mínimo	Normal	Máximo
1	Limpias, rectas, máximo nivel, sin montículos ni pozos profundos	0.025	0.030	0.033
2	Igual al anterior, pero con más piedras y malezas	0.030	0.035	0.040
3	Limpia, serpenteante, algunos pozos y bancos de arena	0.033	0.040	0.045
4	Igual al anterior, pero con algunos matorrales y piedras	0.035	0.045	0.050
5	Igual al anterior, niveles bajos, pendientes y secciones más ineficientes	0.040	0.048	0.055
6	Igual al 4, pero con más piedras	0.045	0.050	0.060
7	Tramos lentos, con malezas u pozos profundos	0.050	0.070	0.080
8	Tramos con muchas malezas, pozos profundos o canales de crecientes con muchos árboles con matorrales bajos	0.075	1.00	1.50

Fuente: VEN TE CHOW, PhD. Hidráulica de canales abiertos. Tabla 5-6, Págs. 108-111

En el estudio hidrológico para la cuenca alta del Río Achiguat-Guacalate presentado por el ingeniero Alan Cosillo al Ministerio de Comunicaciones, Infraestructura y Vivienda, para el caso de “n” según las condiciones del cauce que muestra cantos rodados, y granulometrías de diferentes tamaños, se estimó el valor de “n” entre 0.028 a 0.029 (tomado de la tabla de Ven T. Chow).

- S.M. Woodward and C. J Posey:

Según Woodwar y Posey, el valor de “n” puede estimarse en 0.40 (Tabla 16), que corresponde a un cauce con orillas rectas, fondo uniforme, altura de lámina de agua suficiente, algo de vegetación y poco limpio.

Tabla 16. **Woodward and Posey. Propuesta de valores de “n”**

Corrientes Naturales	Valores de “n”
Limpias, orillas rectas, fondo uniforme, altura de lámina de agua suficientes	0.027 a 0.033
Limpias, orillas rectas, fondo uniforme, altura de lámina de agua suficientes, algo de vegetación	0.033 a 0.040
Limpias, meandros, embalses y remolinos de poca importancia	0.035 a 0.050
Lentas, con embalses profundos y canales ramificados	0.060 a 0.080
Lentas, con embalses profundos y canales ramificados, vegetación densa	0.100 a 0.200
Rugosas, corrientes en terreno rocoso de montaña	0.050 a 0.080
Áreas de inundación adyacentes al canal ordinario	0.030 a 0.200

Fuente: WOODWARD, S.M.; POSEY, C.J. Hydraulics of steady flow in open channels.

Tabla 101. P.5

- Luis Cea:

Luis Cea, en *Hidráulica fluvial*, propone la siguiente tabla:

Tabla 17. Luis Cea. Propuesta de valores de “n”

Material	Minimo	Medio	Maximo
Riachuelo limpio	0.025	0.030	0.033
Riachuelo con cantos	0.035	0.045	0.055
Rios de montaña	0.040	0.050	0.070
Llanuras con hierba	0.030	0.035	0.050
Llanuras con cultivos bajos	0.030	0.040	0.050
Llanuras con árboles	0.011	0.150	0.200
Grandes ríos	0.035	0.050	1.000

Fuente: CEA, Luis. *Hidráulica fluvial*. P.19

De acuerdo con esta tabla, los puntos de estudio se clasificarían como llanuras con hierba, cuyo valor para “n” varía entre 0.030 a 0.050, proponiendo con esta tabla un valor para “n” de 0.040.

- U.S Department of Agriculture

El U.S. Department of Agriculture en 1955 publica una tabla, donde los cauces se pueden clasificar como canales con vegetación de gramíneas cortas (Tabla 18), proponiendo los valores de “n” entre 0.030 a 0.060, y según lo observado en el río Achiguate-Guacalate se puede proponer un valor para “n” de 0.40.

Tabla 18. U.S Department of Agriculture. Propuesta de valores de “n”

a) Canales sin vegetación	“n”
Sección transversal uniforme, alineación regular sin guijaros ni vegetación, en suelos sedimentarios finos	0.016
Sección transversal uniforme, alineación regular sin guijaros ni vegetación, con suelos de arcilla duros u horizontes endurecidos	0.018
Sección transversal uniforme, alineación regular con pocos guijaros, escasa vegetación, en tierra franca arcillosa	0.020
Pequeñas variaciones en la sección transversal, alineación bastante regular, pocas piedras, hierva fina en las orillas, en suelos arenosos y arcillosos y también en canales recién limpiados y rastrillados	0.0225
Alineación irregular, con ondulaciones en el fondo, en suelo de grava o esquistos arcillosos, con orrillas irregulares o vegetación	0.025
Sección transversal y alineación irregulares, rocas dispersas y grava suelta en el fondo, o con considerable vegetación en los márgenes inclinados o en un material de grava de hasta 150 mm de diámetro	0.030
Canales irregulares erosionados, o canales abiertos en la roca	0.030
b) Canales con vegetación	“n”
Gramíneas cortas (50-150 mm)	0-030 a 0.060
Gramíneas medias (150-250 mm)	0.030 a 0.085
Gramíneas largas (250-600 mm)	0.040 a 0.150
c) Canales de corriente natural	“n”
Limpios y rectos	0.025 a 0.030
Sinuosos, con ambalses y bajos	0.033 a 0.040
Con muchas hierbas altas, sinuosos	0.075 a 0.150

Fuente: PASTORA, Deyman. *Evaluación de la fórmula de Manning en el río Ostua*.

www.fao.org. Consulta: febrero 2018.

7.2 Métodos analíticos

Analíticamente se puede calcular el valor de “n” a partir de los datos de la estación de aforo con la ecuación de Manning, sin embargo, para cada lectura existirá un diferente valor para “n”, por lo que se sugiere recopilar suficiente información para poder determinar un valor medio representativo.

Deyman Vladimir Pastora, en su estudio especial presentado a la Escuela Regional de Ingeniería Sanitaria y Recursos Hidráulicos en el año 2010, titulado Evaluación de la fórmula de Manning en el Río Ostúa, analiza dos estaciones de aforo aplicando tres procedimientos analíticos y concluye que dos de ellos se asemejan a los caudales reales de cada estación. Tomando en cuenta las conclusiones del ingeniero Pastora, se aplicarán los dos procedimientos que le presentaron los mejores resultados, siendo ellos la ecuación de Manning, que es el mencionado al inicio de este apartado, y el de caudal = área x velocidad.

- Ecuación de Manning:

De la ecuación de Manning se despeja el valor de “n”

$$n = (1/v) * R_h^{2/3} * S^{1/2}$$

Tomando como ejemplo la estación Alotenango II, que proporciona datos de tres aforos, se determina “n” cuyas velocidades y radio hidráulico se presenta en el anexo 1. La pendiente se estimó en la sección 4.3:

$$n_1 = (1/0.79) * (0.37)^{2/3} * (1.43/100)^{1/2} = 0.079$$

$$n_2 = (1/0.78) * (0.37)^{2/3} * (1.43/100)^{1/2} = 0.079$$

$$n_3 = (1/0.71) * (0.42)^{2/3} * (1.43/100)^{1/2} = 0.096$$

En el siguiente paso se efectúa la sumatoria de “n”:

$$\sum n = 0.2536$$

Luego se promedia para obtener el valor medio de “n” para esta estación:

$$N_p = (0.2536 / 3) = 0.085$$

Con este mismo procedimiento se calcula el valor medio de “n” para cada estación de aforo, habiéndose obtenido los siguientes resultados:

Tabla 19. **Valores de “n” calculados a partir de la ecuación de Manning**

Estación	“n”
Alotenango	0.157
Alotenango II	0.085
Cenizas	0.076
Guacalate	0.064
San Juan Gascón	0.096
San Luis las Carretas	0.060

Fuente: elaboración propia con base en aforos del INSIVUMEH.

Luego, para obtener el valor promedio de “n” representativo para toda la cuenca, se toma en cuenta la totalidad de los datos.

$$\sum n = 9.940, 113 \text{ datos, por lo que el promedio es } n = (9.940 / 113) = 0.087$$

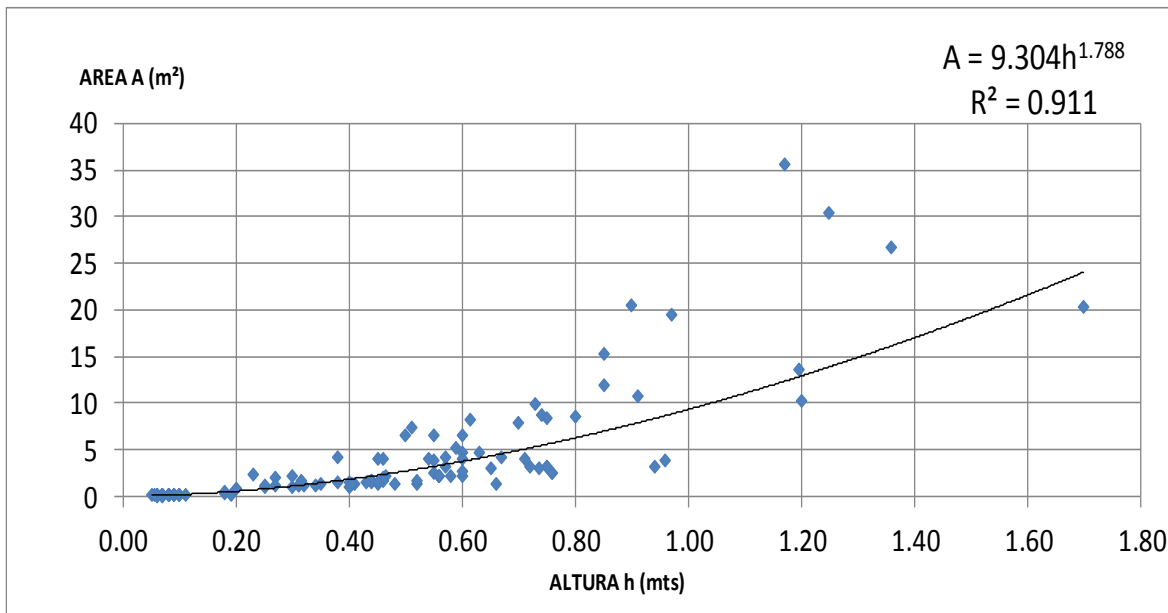
La tabla con los datos que generan estos resultados se adjunta en el apéndice 3.

- Área-velocidad:

Este procedimiento consiste en encontrar la tendencia del área y de la velocidad respecto de la altura. Para establecer esta tendencia se elaboran las gráficas respectivas de área-altura y de velocidad-altura, y se calcula la ecuación de tendencia para cada una. Luego se procede a calcular las nuevas áreas y velocidades que determinarán el valor de “n” para cada aforo realizado dentro de la cuenca en estudio.

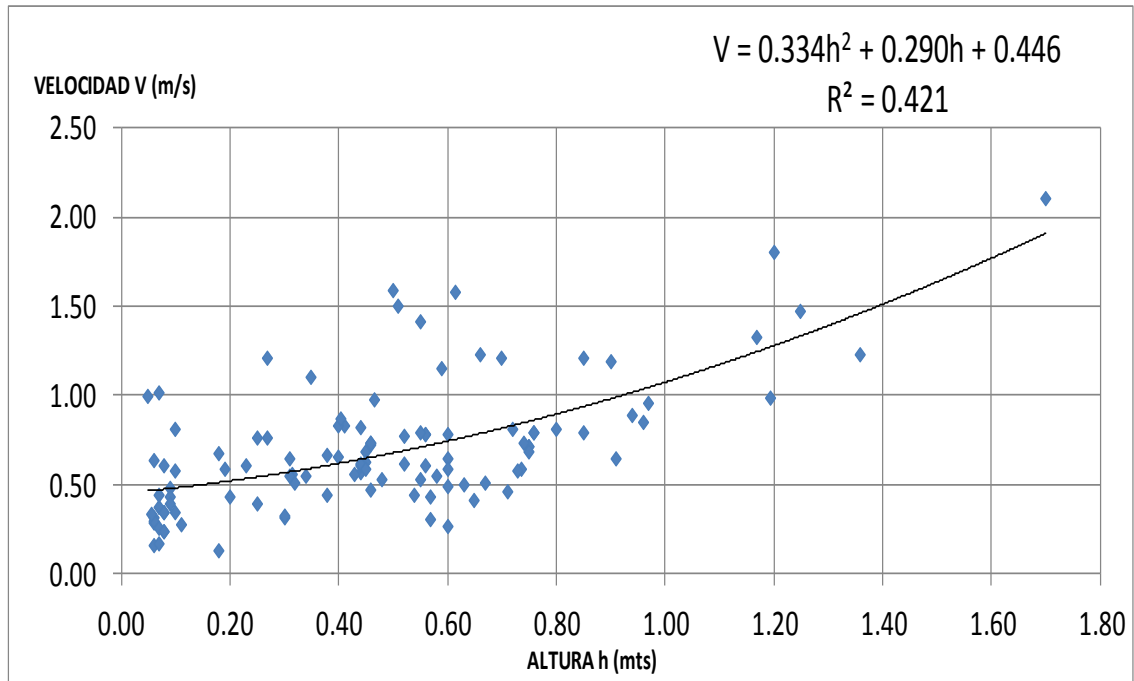
Los datos que sirven para elaborar las gráficas y calcular las ecuaciones de tendencia se presentan en el apéndice 4, generando las siguientes gráficas de tendencias de área y velocidad respecto de la altura:

Figura 11. **Gráfica Área - Altura en aforos del río Achiguate-Guacalate**



Fuente: elaboración propia con datos de INSIVUMEH.

Figura 12. Gráfica velocidad - altura en aforos del río Achiguate-Guacalate



Fuente: elaboración propia con datos de INSIVUMEH.

Con base en la gráfica de la figura 11 la ecuación de tendencia para la relación área-altura es:

$$A = 9.304 h^{1.788}$$

Donde: $A = \text{Área en m}^2$
 $h = \text{Altura en m}$

Con base en la gráfica de la figura 12 la ecuación de tendencia para la relación velocidad-altura es:

$$V = 0.334 h^2 + 0.290 h + 0.446$$

Donde: $V =$ Velocidad en m/seg.
 $h =$ Altura em.

Con estas dos ecuaciones se procede a corregir los valores para el área, velocidad, perímetro mojado y radio hidráulico. Con los valores ya corregidos y con la pendiente del cauce, la cual se determinó para cada estación de aforo en la sección 4.3, se procede a calcular de nuevo el valor del coeficiente de rugosidad “n” de la ecuación de Manning:

$$n = (1/v) * R_h^{2/3} * S^{1/2}$$

Los resultados para los valores de “n” se tabulan en el apéndice 5 y los resultados son los siguientes:

$$\sum n = 8.204, \text{ su promedio } n = (8.204 / 111) = 0.074$$

Lo que se ha podido determinar por este procedimiento es que en realidad no es necesario ajustar los valores del área, ya que al hacer la relación del área ajustada con el área real, el valor del radio hidráulico no varía para efectos del cálculo de “n”.

Tabla 20. **Valores promedio de “n”**

Estación	“n”
Alotenango	0.124
Alotenango II	0.079
Cenizas	0.060
Guacalate	0.091
San Juan Gascón	0.074
San Luis las Carretas	0.061

Fuente: elaboración propia.

8. ANÁLISIS Y COMPARACIÓN DE RESULTADOS

8.1 Comparación de resultados con otros métodos

En el siguiente cuadro se comparan los resultados obtenidos por los diferentes métodos analizados en el presente estudio especial:

Tabla 21. Resumen de valores “n” con diferentes métodos

METODOS	"n" propuesto
VISUALES	
Ven Te Chow	0.040
S.M. Woodward and C. J Posey	0.040
Luis Cea 1	0.040
U.S Departament of Agriculture	0.040
Analíticos	
Manning	0.087
Area - Velocidad	0.074
Modelo Estudio Especial (media)	0.075

Fuente: elaboración propia

Como se puede observar, para los métodos visuales el valor de “n” se estimó en 0.040, mientras los métodos analíticos proporcionan un valor más elevado entre 0.074 y 0.087, y el modelo estimó “n” en 0.075, muy cercano al obtenido por el método de área-velocidad.

8.2 Análisis estadístico

Se estableció una relación entre los diferentes métodos, calculando la media aritmética y la desviación estándar, y se logró establecer que solamente

el valor obtenido por el método de Manning (0.087) se ubica fuera de los límites que propone la desviación según la siguiente tabla:

Tabla 22. **Análisis estadístico de “n” con diferentes métodos**

Parámetros	Valor
Media X	0.057
Desviación Estandar S	0.020
S +	0.076
S -	0.037
Diferencia del modelo respecto de la media	0.018

Fuente: elaboración propia.

El valor de “n” medio para los tres puntos analizados en el estudio es de 0.075, muy cercano al límite superior de la desviación estándar (0.076) y a 0.018 de la media (0.057).

8.3 Análisis de datos por década

Al analizar los datos por décadas (2002-2010 y 2011-2016) se puede observar que la media de $\emptyset(R_h/K)$ varía incrementándose de 0.86 a 0.97, respectivamente (figs. 3 y 4, cap. 5), lo que significa que el valor de resistencia al flujo provocado por el cauce se incrementó en esta última década.

Una posibilidad de que este valor se haya incrementado puede deberse a que los cauces están siendo afectados por descargas de desechos sólidos provenientes de los poblados cercanos. Este factor puede observarse al hacer un recorrido a lo largo de la cuenca. En el apéndice 6, Foto 3 se observa gran cantidad de jabones y desechos sólidos dentro del cauce confirmando lo antes descrito.

8.4 Comparación del modelo con aforos posteriores al modelo

El modelo fue formulado con datos correspondiente a los años 2002 a 2016. Uno de los puntos escogidos para estimar el valor de “n” coincide con la estación Alotenango II, motivo por el cual se escogió esta para comparar el modelo con aforos posteriores a los que se tomaron en cuenta para la formulación del modelo.

El INSIVUMEH realizó una campaña de aforos en el año 2017 en las estaciones de la cuenca Achiguate-Guacalate, de los cuales se toman los correspondientes a la estación Alotenango II, en donde se realizaron 2 aforos, uno en el mes de julio y otro en septiembre.

Tabla 23. **Aforos 2017. Estación Alotenango II**

Estacion	Fecha	Area	Perim.	Radio	Prof.	Velocidad	Caudal	n
		m ²	Mojado m	Hidráulico m	Máxima m	Media m/seg		
Alotenango II	7/09/2017	2.79	6.76	0.41	0.75	0.54	1.49	0.124
Alotenango II	24/07/2017	2.83	6.58	0.43	0.70	0.50	1.41	0.137

Fuente: elaboración propia con datos de INSIVUMEH.

Con esta información se determina el valor de “n” que se obtiene analíticamente por medio de la ecuación de Manning:

$$n = (1/v) * (R_h)^{2/3} * (S)^{1/2}$$

n = 0.124 (para aforo del 07/09/17)

n = 0.137 (para aforo del 24/07/17)

Con base en el estudio de tesis para obtener el grado de ingeniero civil en la Universidad de San Carlos de Guatemala, del estudiante Didier Eduardo Fernández Alvarado, titulado *Calibración de un molinete de aspas para la realización de un aforo por vadeo de un cauce pequeño*, se tomó información de un aforo realizado en la estación Alotenango II el 29 de julio de 2018.

El aforo se realizó con un molinete calibrado en el laboratorio de hidráulica de la Facultad de Ingeniería de la Universidad de San Carlos de Guatemala, y se utilizó el método por vadeo para el cálculo de las velocidades y el caudal de la sección. Con los datos levantados en campo y con la ecuación de calibración del molinete se calcularon las velocidades medias entre secciones del cauce y el caudal total que pasa por la estación.

Tabla 24. **Cálculo de velocidades y caudal total en Alotenango II**

Velocidad hélice m/seg	Velocidad cauce m/seg	Ancho m	Area m ²	Caudal m ³ /seg	Pm m
0.08	0.22	0.30	0.04	0.01	0.14
0.14	0.35	0.53	0.29	0.10	0.73
0.14	0.35	0.48	0.30	0.11	0.47
0.19	0.45	0.50	0.31	0.14	0.50
0.16	0.39	0.48	0.31	0.12	0.50
0.17	0.42	0.46	0.20	0.08	0.51
0.18	0.43	0.54	0.25	0.11	0.47
0.12	0.31	0.54	0.19	0.06	0.61
0.12	0.31	0.53	0.06	0.02	0.54
0.12	0.31	0.52	0.08	0.03	0.58
0.12	0.32	0.29	0.04	0.01	0.46
0.00	0.07	0.06	0.00	0.00	0.17
Σ	1.52	0.38	5.21	2.08	0.79

Fuente: FERNÁNDEZ, Didier. *Calibración de un molinete de aspas para la realización de un aforo por vadeo de un cauce pequeño*. Consulta: julio 2018.

Con esta información se determina el valor de “n”, que se obtiene analíticamente por medio de la ecuación de Manning previo cálculo del radio hidráulico

$$R_h = A / P_m$$

$$R_h = 2.08 / 5.67 = 0.37$$

$$n = (1/v) * (R_h)^{2/3} * (S)^{1/2}$$

$$n = (1/0.38) * (0.37)^{2/3} * (0.0143)^{1/2}$$

$$n = 0.162$$

En la siguiente tabla se comparan los valores de “n” obtenidos con información nueva que no se utilizó en la formulación del modelo:

Tabla 25. **Comparación de valores de “n”**

ESTACION	AFORO	FECHA	n	
			Nuevo aforo	Modelo
Alotenango II	Insivumeh	7/09/2017	0.124	0.073
		24/07/2017	0.137	
	Didier Fernández	29/07/2018	0.162	

Fuente: elaboración propia.

Como se puede observar, los datos de INSIVUMEH y los del estudio de tesis de Didier Fernández son similares, proporcionando valores para “n” bastante altos comparados con el del modelo y con los métodos visuales que estiman un valor para “n” de 0.040.

CONCLUSIONES

1. El valor del coeficiente de Manning determinado con el modelo para la cuenca del río Achiguate-Guacalate (0.075) se considera confiable considerando que su valor es similar a los valores estimados con métodos analíticos (0.074 y 0.087), aunque difiere considerablemente con 0.040 estimado con los métodos visuales, hecho que debe ser considerado por el ingeniero al momento de definir este valor.
2. El modelo propuesto siguiendo la metodología establecida en el estudio es: $n = 0.091 K^{1/6}$
3. El valor medio de “n” aplicando el modelo en diferentes puntos dentro de la cuenca es 0.075.
4. El valor de “n”, tomando como base dos aforos recientes en la estación Alotenango II realizados por el INSIVUMEH en 2017, y que no se tomaron en cuenta en la formulación del modelo, resultó mayor al valor propuesto por el modelo (0.124 y 0.137 > 0.073).
5. El valor de “n” calculado en 2018 en el estudio de tesis de Didier Fernández (0.162) confirma los valores de “n” estimados por medio de las mediciones de INSIVUMEH en 2017 (0.124 y 0.137).

RECOMENDACIONES

1. Investigar por qué el valor de “n” aplicando este modelo se incrementa con los datos para esta última década (2011-2016) en comparación con el conjunto de datos (2002-2010).
2. Investigar por qué existe diferencia entre los métodos analíticos y los métodos visuales en la determinación del valor de “n”.
3. Realizar otras investigaciones con esta metodología en otras cuencas, para comparar el comportamiento de los resultados con otros métodos y establecer una relación con cuencas de la vertiente del pacífico.

BIBLIOGRAFÍA

1. ANLEU FORTUNY, Rafael Ignacio. *Zonificación de la cuenca del río Achiguate-Guacalate, una propuesta de integración de criterios para la reducción del riesgo a desastres*. Trabajo de graduación, Facultad de Agronomía, Universidad de San Carlos de Guatemala. 2008. 138 p.
2. BEREZOWSKY VERDUZCO, Moisés; JIMÉNEZ CATAÑEDA, Amado Abel. *Cálculo de perfiles en ríos de fondo arenoso con métodos de resistencia al flujo de hidráulica fluvial*. Instituto de Ingeniería de la Universidad Autónoma de México. 2017. 136 p.
3. CEA, Luis. *Asignatura hidráulica fluvial, fricción de fondo, área hidráulica*. Grupo de Ingeniería del Agua y del Medio Ambiente. [en línea]. [<http://docplayer.es/61410502-Hidraulica-fluvial-friccion-de-fondo-asignatura-hidraulica-fluvial-profesor-luis-cea.html>]. [Consulta: 14 de septiembre de 2017].
4. Dirección General de Caminos, Unidad de Manejo de Ríos y Canales. *Estudio hidrológico Achiguate-Guacalate*. Guatemala: DGC, 2014. 72 p.
5. FERNÁNDEZ, Didier. *Calibración de un molinete de aspas para la realización de un aforo por vadeo de un cauce pequeño*. Trabajo de graduación, Facultad de Ingeniería, Universidad de San Carlos de Guatemala. 2018. 130 p.

6. MILLANAO BALBOA, Carolina Beatriz. *Determinación de granulometría de lecho de cauce de montaña a través del uso de fotografías digitales*. Universidad Austral de Chile, Facultad de Ciencias de la Ingeniería, Escuela de Ingeniería Civil en Obras Civiles. [En línea]. [<http://cybertesis.uach.cl/tesis/uach/010/bmfcim645d/doc/bmfcim645d.pdf>] [Consulta: 07 de agosto de 2017].

7. OSÍO YÉPEZ, Mónica G, *Cálculo del coeficiente de rugosidad "n" de Manning en los grandes ríos de Venezuela*. Revista de Ingeniería UC, Vol. 7, No. 2, Universidad de Carabobo, Valencia, Venezuela. [en línea]. [<http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=70770202>]. [Consulta: 14 de febrero de 2017].

8. PASTORA FLORES, Deyman Vladimir. *Evaluación de la fórmula de Manning en el Río Ostúa*. Trabajo de graduación de la Escuela Regional de Ingeniería Sanitaria y Recursos Hidráulicos, Facultad de Ingeniería, Universidad de San Carlos de Guatemala. 2010. 131 p.

9. VEN TE CHOW, Ph. D. *Hidráulica de canales abiertos*. Saldarriaga, Juan G. (trad.). Zuluaga Angel, Antonio (Rev. Tec.). [en línea]. [<http://www.hidrojing.com/wp-content/uploads/Bibliografia/2>]. [Consulta: febrero de 2018].

APÉNDICES

Apéndice 1. Tabla de resultados (r_h/k) y $\phi \left(\frac{R_h}{K} \right)$

Años 2002 - 2010

Fecha	Estación	Rh	v	S	n	K	Rh/K	$\Phi(Rh/K)$
13-03-02	Cenizas	0.209	0.436	1.000	0.081	0.752	0.278	0.085
13-03-02	Cenizas	0.197	0.463	1.000	0.073	0.630	0.312	0.079
20-06-02	Cenizas	0.414	0.954	1.000	0.058	0.758	0.546	0.061
10-07-02	Cenizas	0.389	0.730	1.000	0.073	1.061	0.366	0.072
11-07-02	San Luis Las Carretas	0.166	0.500	0.800	0.054	0.349	0.475	0.064
10-09-02	San Luis Las Carretas	0.239	0.525	0.800	0.066	0.628	0.381	0.071
15-10-02	San Juan Gascon	0.035	0.278	5.700	0.091	0.189	0.183	0.120
15-10-02	San Juan Gascon	0.041	0.314	5.700	0.090	0.218	0.188	0.116
12-05-03	San Luis Las Carretas	0.190	0.460	0.800	0.064	0.510	0.371	0.072
02-09-03	Cenizas	0.503	1.226	1.000	0.052	0.672	0.748	0.055
02-09-03	Cenizas	0.091	0.428	1.000	0.047	0.180	0.505	0.063
03-09-03	San Luis Las Carretas	0.184	0.530	0.800	0.055	0.382	0.481	0.064
03-09-03	San Juan Gascon	0.037	0.991	5.700	0.027	0.029	1.294	0.048
23-09-03	Cenizas	0.393	1.185	1.000	0.045	0.427	0.920	0.052
24-09-03	San Luis Las Carretas	0.336	0.565	0.800	0.076	1.015	0.331	0.076
24-09-03	San Juan Gascon	0.044	1.017	5.700	0.029	0.040	1.095	0.050
14-01-04	San Juan Gascon	0.043	0.331	5.700	0.088	0.221	0.194	0.113
29-03-04	Alotenango	0.190	0.314	3.330	0.192	1.402	0.136	0.182
29-03-04	San Luis Las Carretas	0.185	0.509	0.800	0.057	0.415	0.445	0.066
30-03-04	Guacalate	0.293	0.677	2.180	0.096	1.210	0.242	0.093
30-03-04	Guacalate	0.219	0.640	2.180	0.084	0.819	0.268	0.087
30-03-04	Cenizas	0.298	0.786	1.000	0.057	0.577	0.517	0.062
30-03-04	Cenizas	0.077	0.125	1.000	0.145	0.526	0.146	0.161
30-07-04	Alotenango	0.380	0.638	3.330	0.150	2.244	0.169	0.131
30-07-04	San Juan Gascon	0.042	0.291	5.700	0.099	0.241	0.175	0.126
23-09-04	Guacalate	0.123	0.669	2.180	0.054	0.286	0.429	0.067
23-09-04	Guacalate	0.595	1.801	2.180	0.058	0.962	0.619	0.058
23-09-04	Cenizas	0.590	1.474	1.000	0.048	0.618	0.955	0.052

Continuación apéndice 1.

Años 2002-2010

Fecha	Estación	Rh	v	S	n	K	Rh/K	$\Phi(Rh/K)$
16-06-05	San Juan Gascon	0.038	0.632	5.700	0.043	0.082	0.464	0.065
29-07-05	Guacalate	0.345	1.406	2.180	0.052	0.529	0.652	0.057
29-07-05	Guacalate	0.166	1.210	2.180	0.037	0.154	1.075	0.050
29-07-05	Cenizas	0.444	1.205	1.000	0.048	0.535	0.830	0.054
16-09-05	San Juan Gascon	0.046	0.472	5.700	0.065	0.174	0.266	0.087
16-09-05	San Luis Las Carretas	0.240	0.826	0.800	0.042	0.262	0.914	0.052
07-03-06	San Juan Gascon	0.040	0.159	5.700	0.177	0.322	0.125	0.213
19-07-06	San Juan Gascon	0.057	0.342	5.700	0.103	0.320	0.177	0.125
19-07-06	San Luis Las Carretas	0.249	1.104	0.800	0.032	0.129	1.938	0.045
20-07-06	Cenizas	0.553	1.319	1.000	0.051	0.698	0.792	0.054
06-09-06	San Juan Gascon	0.040	0.373	5.700	0.075	0.179	0.223	0.099
06-09-06	San Luis Las Carretas	0.201	0.824	0.800	0.037	0.176	1.139	0.050
16-03-07	Alotenango	0.346	0.614	3.330	0.146	2.027	0.171	0.130
16-03-07	San Juan Gascon	0.047	0.170	5.700	0.184	0.378	0.125	0.216
16-03-07	San Luis Las Carretas	0.249	0.521	0.800	0.068	0.682	0.365	0.072
15-06-07	Cenizas	0.748	0.981	1.000	0.084	2.137	0.350	0.074
24-10-07	Alotenango	0.529	0.842	3.330	0.142	2.865	0.185	0.119
24-10-07	San Juan Gascon	0.058	0.345	5.700	0.104	0.331	0.176	0.125
24-10-07	San Luis Las Carretas	0.378	0.728	0.800	0.064	0.850	0.445	0.066
05-05-08	Cenizas	0.280	0.491	1.000	0.087	1.044	0.269	0.087
01-07-08	Cenizas	0.379	1.501	1.000	0.035	0.204	1.859	0.045
01-08-08	San Juan Gascon	0.058	0.598	5.700	0.060	0.187	0.310	0.079
07-11-08	Cenizas	0.320	1.585	1.000	0.029	0.108	2.960	0.043
12-11-08	San Juan Gascon	0.055	0.253	5.700	0.136	0.374	0.146	0.160
12-11-08	San Luis Las Carretas	0.276	0.653	0.800	0.058	0.569	0.485	0.064
14-11-08	Cenizas	0.396	1.208	1.000	0.045	0.414	0.957	0.052
04-05-10	Cenizas	0.392	0.486	1.000	0.110	1.768	0.221	0.100

Continuación apéndice 1

Años 2011-2016

Fecha	Estación	Rh	v	S	n	K	Rh/K	$\Phi(Rh/K)$
11-05-11	Cenizas	0.359	0.506	1.000	0.100	1.488	0.241	0.093
01-06-11	Cenizas	0.497	0.647	1.000	0.097	1.875	0.265	0.087
13-02-12	Cenizas	0.318	0.425	1.000	0.110	1.480	0.215	0.103
29-03-12	Cenizas	0.180	0.321	1.000	0.099	0.835	0.216	0.102
09-05-12	Cenizas	0.389	1.152	1.000	0.046	0.446	0.871	0.053
18-06-12	Cenizas	0.460	0.785	1.000	0.076	1.279	0.360	0.073
10-09-12	San Juan Gascon	0.046	0.427	5.700	0.071	0.190	0.240	0.094
10-09-12	San Luis Las Carretas	0.294	0.625	0.800	0.063	0.692	0.425	0.067
10-09-12	Alotenango	0.402	0.809	3.330	0.123	2.006	0.200	0.109
17-05-13	Cenizas	0.246	0.828	1.000	0.047	0.355	0.693	0.056
03-04-13	Alotenango	0.390	0.587	3.330	0.166	2.466	0.158	0.143
07-06-13	San Luis Las Carretas	0.322	0.559	0.800	0.075	0.961	0.335	0.076
07-06-13	San Luis Las Carretas	0.322	0.601	0.800	0.070	0.865	0.373	0.072
07-06-13	San Luis Las Carretas	0.322	0.617	0.800	0.068	0.831	0.388	0.070
10-07-13	San Juan Gascon	0.044	0.333	5.700	0.090	0.231	0.191	0.115
10-07-13	San Luis Las Carretas	0.310	0.719	0.800	0.057	0.596	0.520	0.062
10-07-13	Alotenango	0.382	0.778	3.330	0.124	1.932	0.198	0.111
18-09-13	San Juan Gascon	0.070	0.804	5.700	0.050	0.166	0.420	0.068
18-09-13	San Luis Las Carretas	0.333	0.764	0.800	0.056	0.613	0.544	0.061
10-10-13	Cenizas	0.776	2.106	1.000	0.040	0.445	1.744	0.046
17-10-13	San Juan Gascon	0.049	0.436	5.700	0.073	0.206	0.236	0.095
17-10-13	San Luis Las Carretas	0.316	0.822	0.800	0.051	0.477	0.663	0.057
17-10-13	Alotenango	0.491	0.882	3.330	0.129	2.479	0.198	0.111
24-02-14	Cenizas	0.380	0.456	1.000	0.115	1.799	0.211	0.104
18-03-14	Alotenango II	0.374	0.786	1.430	0.079	1.154	0.324	0.077
18-03-14	San Juan Gascon	0.063	0.233	5.700	0.161	0.464	0.135	0.184
18-03-14	San Luis Las Carretas	0.237	0.911	0.800	0.038	0.199	1.192	0.049

Continuación apéndice 1

Años 2011-2016

Fecha	Estación	Rh	v	S	n	K	Rh/K	$\Phi(Rh/K)$
19-05-14	Cenizas	0.478	0.572	1.000	0.107	2.023	0.236	0.095
09-07-14	Alotenango II	0.367	0.776	1.430	0.079	1.137	0.323	0.077
09-07-14	San Juan Gascon	0.059	0.236	5.700	0.154	0.431	0.138	0.177
09-07-14	San Luis Las Carretas	0.353	0.731	0.800	0.061	0.743	0.476	0.064
09-07-14	Alotenango	0.367	0.776	3.330	0.121	1.824	0.201	0.109
18-09-14	San Luis Las Carretas	0.329	0.658	0.800	0.065	0.779	0.423	0.068
22-09-14	Cenizas	0.388	1.577	1.000	0.034	0.185	2.095	0.045
06-11-14	Alotenango II	0.424	0.705	1.430	0.096	1.623	0.261	0.088
06-11-14	San Juan Gascon	0.064	0.386	5.700	0.099	0.344	0.186	0.118
06-11-14	San Luis Las Carretas	0.433	0.598	0.800	0.086	1.438	0.301	0.081
06-11-14	Alotenango	0.424	0.705	3.330	0.146	2.419	0.175	0.126
17-11-14	Cenizas	0.419	0.804	1.000	0.070	1.042	0.402	0.069
14-01-15	Cenizas	0.301	0.433	1.000	0.104	1.341	0.225	0.099
18-02-15	Cenizas	0.350	0.303	1.000	0.164	2.213	0.158	0.143
27-03-15	San Juan Gascon	0.055	0.576	5.700	0.060	0.179	0.306	0.080
27-03-15	San Juan Gascon	0.090	0.584	5.700	0.082	0.386	0.233	0.096
27-03-15	Alotenango	0.401	0.542	3.330	0.183	2.682	0.149	0.155
30-03-15	San Luis Las Carretas	0.219	0.545	0.800	0.060	0.506	0.433	0.067
13-08-15	San Luis Las Carretas	0.302	0.586	0.800	0.069	0.802	0.377	0.071
19-08-15	Alotenango	0.463	0.581	3.330	0.188	3.106	0.149	0.156
19-10-15	San Juan Gascon	0.415	1.229	5.700	0.108	1.824	0.228	0.098
22-03-16	Alotenango	0.395	0.410	3.330	0.239	3.050	0.130	0.199
22-03-16	San Juan Gascon	0.078	0.270	5.700	0.161	0.563	0.138	0.177
22-03-16	San Luis Las Carretas	0.231	0.543	0.800	0.062	0.561	0.412	0.068
19-04-16	Cenizas	0.284	0.257	1.000	0.168	1.867	0.152	0.151
22-11-16	Cenizas	0.445	0.681	1.000	0.086	1.471	0.303	0.080
25-11-16	Alotenango	0.374	0.527	3.330	0.180	2.492	0.150	0.154
26-11-16	Cenizas	0.311	0.554	0.800	0.074	0.915	0.339	0.075

Fuente: Elaboración propia.

Apéndice 2. Medidas de tendencia central y de dispersión

FECHA	ESTACIÓN	$\Phi(Rh/K)$	$ X_i - \bar{X} $	$(X_i - \bar{X})^2$
07-11-08	Cenizas	0.043	0.048	0.0023
22-09-14	Cenizas	0.045	0.046	0.0022
19-07-06	San Luis Las Carretas	0.045	0.046	0.0021
01-07-08	Cenizas	0.045	0.046	0.0021
10-10-13	Cenizas	0.046	0.045	0.0020
03-09-03	San Juan Gascon	0.048	0.043	0.0018
18-03-14	San Luis Las Carretas	0.049	0.042	0.0018
06-09-06	San Luis Las Carretas	0.050	0.041	0.0017
24-09-03	San Juan Gascon	0.050	0.041	0.0017
29-07-05	Guacalate	0.050	0.041	0.0017
14-11-08	Cenizas	0.052	0.039	0.0016
23-09-04	Cenizas	0.052	0.039	0.0016
23-09-03	Cenizas	0.052	0.039	0.0015
16-09-05	San Luis Las Carretas	0.052	0.039	0.0015
09-05-12	Cenizas	0.053	0.038	0.0015
29-07-05	Cenizas	0.054	0.038	0.0014
20-07-06	Cenizas	0.054	0.037	0.0014
02-09-03	Cenizas	0.055	0.036	0.0013
17-05-13	Cenizas	0.056	0.035	0.0012
17-10-13	San Luis Las Carretas	0.057	0.034	0.0012
29-07-05	Guacalate	0.057	0.034	0.0011
23-09-04	Guacalate	0.058	0.033	0.0011
23-09-04	Cenizas	0.060	0.031	0.0010
20-06-02	Cenizas	0.061	0.030	0.0009
18-09-13	San Luis Las Carretas	0.061	0.030	0.0009
10-07-13	San Luis Las Carretas	0.062	0.029	0.0008
30-03-04	Cenizas	0.062	0.029	0.0008
02-09-03	Cenizas	0.063	0.028	0.0008
12-11-08	San Luis Las Carretas	0.064	0.027	0.0007
03-09-03	San Luis Las Carretas	0.064	0.027	0.0007
09-07-14	San Luis Las Carretas	0.064	0.027	0.0007
11-07-02	San Luis Las Carretas	0.064	0.027	0.0007
16-06-05	San Juan Gascon	0.065	0.026	0.0007
29-03-04	San Luis Las Carretas	0.066	0.025	0.0006
24-10-07	San Luis Las Carretas	0.066	0.025	0.0006
30-03-15	San Luis Las Carretas	0.067	0.024	0.0006
23-09-04	Guacalate	0.067	0.024	0.0006
10-09-12	San Luis Las Carretas	0.067	0.024	0.0006
18-09-14	San Luis Las Carretas	0.068	0.024	0.0006

Continuación apéndice 2.

FECHA	ESTACIÓN	$\Phi(Rh/K)$	$ X_i - \bar{X} $	$(X_i - \bar{X})^2$
18-09-13	San Juan Gascon	0.068	0.023	0.0005
22-03-16	San Luis Las Carretas	0.068	0.023	0.0005
17-11-14	Cenizas	0.069	0.022	0.0005
07-06-13	San Luis Las Carretas	0.070	0.021	0.0004
10-09-02	San Luis Las Carretas	0.071	0.020	0.0004
13-08-15	San Luis Las Carretas	0.071	0.020	0.0004
07-06-13	San Luis Las Carretas	0.072	0.019	0.0004
12-05-03	San Luis Las Carretas	0.072	0.019	0.0004
01-03-11	Cenizas	0.072	0.019	0.0004
10-07-02	Cenizas	0.072	0.019	0.0004
16-03-07	San Luis Las Carretas	0.072	0.019	0.0004
18-06-12	Cenizas	0.073	0.018	0.0003
15-06-07	Cenizas	0.074	0.017	0.0003
13-03-02	Cenizas	0.075	0.016	0.0003
07-06-13	San Luis Las Carretas	0.076	0.015	0.0002
24-09-03	San Luis Las Carretas	0.076	0.015	0.0002
18-03-14	Alotenango II	0.077	0.014	0.0002
09-07-14	Alotenango II	0.077	0.014	0.0002
13-03-02	Cenizas	0.079	0.012	0.0002
01-08-08	San Juan Gascon	0.079	0.012	0.0001
27-03-15	San Juan Gascon	0.080	0.011	0.0001
22-11-16	Cenizas	0.080	0.011	0.0001
06-11-14	San Luis Las Carretas	0.081	0.011	0.0001
13-03-02	Cenizas	0.085	0.006	0.0000
05-05-08	Cenizas	0.087	0.005	0.0000
30-03-04	Guacalate	0.087	0.004	0.0000
16-09-05	San Juan Gascon	0.087	0.004	0.0000
01-06-11	Cenizas	0.087	0.004	0.0000
06-11-14	Alotenango II	0.088	0.003	0.0000
30-03-04	Guacalate	0.093	0.002	0.0000
11-05-11	Cenizas	0.093	0.002	0.0000
10-09-12	San Juan Gascon	0.094	0.003	0.0000
19-05-14	Cenizas	0.095	0.004	0.0000
17-10-13	San Juan Gascon	0.095	0.004	0.0000
27-03-15	San Juan Gascon	0.096	0.005	0.0000
19-10-15	San Juan Gascon	0.098	0.007	0.0000
14-01-15	Cenizas	0.099	0.008	0.0001
06-09-06	San Juan Gascon	0.099	0.008	0.0001
04-05-10	Cenizas	0.100	0.009	0.0001
29-03-12	Cenizas	0.102	0.011	0.0001
13-02-12	Cenizas	0.103	0.012	0.0001

Continuación apéndice 2.

FECHA	ESTACIÓN	$\Phi(Rh/K)$	$ x_i - \bar{x} $	$(x_i - \bar{x})^2$
24-02-14	Cenizas	0.104	0.013	0.0002
18-03-14	Alotenango	0.109	0.018	0.0003
09-07-14	Alotenango	0.109	0.018	0.0003
10-09-12	Alotenango	0.109	0.018	0.0003
17-10-13	Alotenango	0.111	0.020	0.0004
10-07-13	Alotenango	0.111	0.020	0.0004
14-01-04	San Juan Gascon	0.113	0.022	0.0005
10-07-13	San Juan Gascon	0.115	0.023	0.0005
15-10-02	San Juan Gascon	0.116	0.025	0.0006
06-11-14	San Juan Gascon	0.118	0.027	0.0007
24-10-07	Alotenango	0.119	0.028	0.0008
15-10-02	San Juan Gascon	0.120	0.029	0.0008
19-07-06	San Juan Gascon	0.125	0.034	0.0011
24-10-07	San Juan Gascon	0.125	0.034	0.0012
06-11-14	Alotenango	0.126	0.035	0.0012
30-07-04	San Juan Gascon	0.126	0.035	0.0012
16-03-07	Alotenango	0.130	0.039	0.0015
30-07-04	Alotenango	0.131	0.040	0.0016
03-04-13	Alotenango	0.143	0.052	0.0027
18-02-15	Cenizas	0.143	0.052	0.0027
19-04-16	Cenizas	0.151	0.060	0.0036
25-11-16	Alotenango	0.154	0.063	0.0040
27-03-15	Alotenango	0.155	0.064	0.0041
19-08-15	Alotenango	0.156	0.065	0.0042
12-11-08	San Juan Gascon	0.160	0.069	0.0048
30-03-04	Cenizas	0.161	0.070	0.0049
22-03-16	San Juan Gascon	0.177	0.086	0.0073
09-07-14	San Juan Gascon	0.177	0.086	0.0074
29-03-04	Alotenango	0.182	0.091	0.0082
18-03-14	San Juan Gascon	0.184	0.092	0.0085
22-03-16	Alotenango	0.199	0.108	0.0116
07-03-06	San Juan Gascon	0.213	0.122	0.0150
16-03-07	San Juan Gascon	0.216	0.125	0.0156
	TOTALES	10.298	3.511	0.1740

Fuente: Elaboración Propia

Apéndice 3. Valores de “n” a partir de ecuación de Manning

No.	Fecha	Estación	Rh (m)	v (m/seg)	S (%)	n m*Seg ^{-1/3}
1	29-03-04	Alotenango	0.190	0.314	3.330	0.192
2	30-07-04	Alotenango	0.380	0.638	3.330	0.150
3	16-03-07	Alotenango	0.346	0.614	3.330	0.146
4	24-10-07	Alotenango	0.529	0.842	3.330	0.142
5	10-09-12	Alotenango	0.402	0.809	3.330	0.123
6	03-04-13	Alotenango	0.390	0.587	3.330	0.166
7	10-07-13	Alotenango	0.382	0.778	3.330	0.124
8	17-10-13	Alotenango	0.491	0.882	3.330	0.129
9	18-03-14	Alotenango	0.374	0.786	3.330	0.121
10	09-07-14	Alotenango	0.367	0.776	3.330	0.121
11	06-11-14	Alotenango	0.424	0.705	3.330	0.146
12	27-03-15	Alotenango	0.401	0.542	3.330	0.183
13	19-08-15	Alotenango	0.463	0.581	3.330	0.188
14	22-03-16	Alotenango	0.395	0.410	3.330	0.239
15	25-11-16	Alotenango	0.374	0.527	3.330	0.180
16	18-03-14	Alotenango II	0.374	0.786	1.430	0.079
17	09-07-14	Alotenango II	0.367	0.776	1.430	0.079
18	06-11-14	Alotenango II	0.424	0.705	1.430	0.096
19	13-03-02	Cenizas	0.209	0.436	1.000	0.081
20	13-03-02	Cenizas	0.197	0.463	1.000	0.073
21	20-06-02	Cenizas	0.414	0.954	1.000	0.058
22	10-07-02	Cenizas	0.389	0.730	1.000	0.073
23	02-09-03	Cenizas	0.503	1.226	1.000	0.052
24	02-09-03	Cenizas	0.091	0.428	1.000	0.047
25	23-09-03	Cenizas	0.393	1.185	1.000	0.045
26	30-03-04	Cenizas	0.298	0.786	1.000	0.057
27	30-03-04	Cenizas	0.077	0.125	1.000	0.145
28	23-09-04	Cenizas	0.590	1.474	1.000	0.048

Continuación apéndice 3.

No.	Fecha	Estación	Rh (m)	v (m/seg)	S (%)	n m*Seg ^{-1/3}
29	23-09-04	Cenizas	0.158	0.600	1.000	0.049
30	29-07-05	Cenizas	0.444	1.205	1.000	0.048
31	20-07-06	Cenizas	0.553	1.319	1.000	0.051
32	15-06-07	Cenizas	0.748	0.981	1.000	0.084
33	05-05-08	Cenizas	0.280	0.491	1.000	0.087
34	01-07-08	Cenizas	0.379	1.501	1.000	0.035
35	07-11-08	Cenizas	0.320	1.585	1.000	0.029
36	14-11-08	Cenizas	0.396	1.208	1.000	0.045
37	04-05-10	Cenizas	0.392	0.486	1.000	0.110
38	01-03-11	Cenizas	0.250	0.586	1.000	0.068
39	11-05-11	Cenizas	0.359	0.506	1.000	0.100
40	01-06-11	Cenizas	0.497	0.647	1.000	0.097
41	13-02-12	Cenizas	0.318	0.425	1.000	0.110
42	29-03-12	Cenizas	0.180	0.321	1.000	0.099
43	09-05-12	Cenizas	0.389	1.152	1.000	0.046
44	18-06-12	Cenizas	0.460	0.785	1.000	0.076
45	17-05-13	Cenizas	0.246	0.828	1.000	0.047
46	10-10-13	Cenizas	0.776	2.106	1.000	0.040
47	24-02-14	Cenizas	0.380	0.456	1.000	0.115
48	19-05-14	Cenizas	0.478	0.572	1.000	0.107
49	22-09-14	Cenizas	0.388	1.577	1.000	0.034
50	17-11-14	Cenizas	0.419	0.804	1.000	0.070
51	14-01-15	Cenizas	0.301	0.433	1.000	0.104
52	18-02-15	Cenizas	0.350	0.303	1.000	0.164
53	19-04-16	Cenizas	0.284	0.257	1.000	0.168
54	22-11-16	Cenizas	0.445	0.681	1.000	0.086
55	30-03-04	Guacalate	0.293	0.677	2.180	0.096
56	30-03-04	Guacalate	0.219	0.640	2.180	0.084
57	23-09-04	Guacalate	0.123	0.669	2.180	0.054

Continuación apéndice 3

No.	Fecha	Estación	Rh (m)	v (m/seg)	S (%)	n m*Seg ^{-1/3}
58	23-09-04	Guacalate	0.595	1.801	2.180	0.058
59	29-07-05	Guacalate	0.345	1.406	2.180	0.052
60	29-07-05	Guacalate	0.166	1.210	2.180	0.037
61	15-10-02	San Juan Gascon	0.035	0.278	5.700	0.091
62	15-10-02	San Juan Gascon	0.041	0.314	5.700	0.090
63	03-09-03	San Juan Gascon	0.037	0.991	5.700	0.027
64	24-09-03	San Juan Gascon	0.044	1.017	5.700	0.029
65	14-01-04	San Juan Gascon	0.043	0.331	5.700	0.088
66	30-07-04	San Juan Gascon	0.042	0.291	5.700	0.099
67	16-06-05	San Juan Gascon	0.038	0.632	5.700	0.043
68	16-09-05	San Juan Gascon	0.046	0.472	5.700	0.065
69	07-03-06	San Juan Gascon	0.040	0.159	5.700	0.177
70	19-07-06	San Juan Gascon	0.057	0.342	5.700	0.103
71	06-09-06	San Juan Gascon	0.040	0.373	5.700	0.075
72	16-03-07	San Juan Gascon	0.047	0.170	5.700	0.184
73	24-10-07	San Juan Gascon	0.058	0.345	5.700	0.104
74	24-10-07	San Juan Gascon	0.058	0.345	5.700	0.104
75	01-08-08	San Juan Gascon	0.058	0.598	5.700	0.060
76	12-11-08	San Juan Gascon	0.055	0.253	5.700	0.136
77	10-09-12	San Juan Gascon	0.046	0.427	5.700	0.071
78	10-07-13	San Juan Gascon	0.044	0.333	5.700	0.090
79	18-09-13	San Juan Gascon	0.070	0.804	5.700	0.050
80	17-10-13	San Juan Gascon	0.049	0.436	5.700	0.073
81	18-03-14	San Juan Gascon	0.063	0.233	5.700	0.161
82	09-07-14	San Juan Gascon	0.059	0.236	5.700	0.154
83	06-11-14	San Juan Gascon	0.064	0.386	5.700	0.099
84	27-03-15	San Juan Gascon	0.055	0.576	5.700	0.060
85	27-03-15	San Juan Gascon	0.090	0.584	5.700	0.082
86	19-10-15	San Juan Gascon	0.415	1.229	5.700	0.108

Continuación apéndice 3

No.	Fecha	Estación	Rh (m)	v (m/seg)	S (%)	n m*Seg ^{-1/3}
87	22-03-16	San Juan Gascon	0.078	0.270	5.700	0.161
88	11-07-02	San Luis Las Carretas	0.166	0.500	0.800	0.054
89	10-09-02	San Luis Las Carretas	0.239	0.525	0.800	0.066
90	12-05-03	San Luis Las Carretas	0.190	0.460	0.800	0.064
91	03-09-03	San Luis Las Carretas	0.184	0.530	0.800	0.055
92	24-09-03	San Luis Las Carretas	0.336	0.565	0.800	0.076
93	29-03-04	San Luis Las Carretas	0.185	0.509	0.800	0.057
94	16-09-05	San Luis Las Carretas	0.240	0.826	0.800	0.042
95	19-07-06	San Luis Las Carretas	0.249	1.104	0.800	0.032
96	06-09-06	San Luis Las Carretas	0.201	0.824	0.800	0.037
97	16-03-07	San Luis Las Carretas	0.249	0.521	0.800	0.068
98	24-10-07	San Luis Las Carretas	0.378	0.728	0.800	0.064
99	12-11-08	San Luis Las Carretas	0.276	0.653	0.800	0.058
100	10-09-12	San Luis Las Carretas	0.294	0.625	0.800	0.063
101	07-06-13	San Luis Las Carretas	0.322	0.559	0.800	0.075
102	07-06-13	San Luis Las Carretas	0.322	0.601	0.800	0.070
103	07-06-13	San Luis Las Carretas	0.322	0.617	0.800	0.068
104	10-07-13	San Luis Las Carretas	0.310	0.719	0.800	0.057
105	18-09-13	San Luis Las Carretas	0.333	0.764	0.800	0.056
106	17-10-13	San Luis Las Carretas	0.316	0.822	0.800	0.051
107	18-03-14	San Luis Las Carretas	0.237	0.911	0.800	0.038
108	09-07-14	San Luis Las Carretas	0.353	0.731	0.800	0.061
109	18-09-14	San Luis Las Carretas	0.329	0.658	0.800	0.065
110	06-11-14	San Luis Las Carretas	0.433	0.598	0.800	0.086
111	30-03-15	San Luis Las Carretas	0.219	0.545	0.800	0.060
112	13-08-15	San Luis Las Carretas	0.302	0.586	0.800	0.069
113	22-03-16	San Luis Las Carretas	0.231	0.543	0.800	0.062
114	25-11-16	San Luis Las Carretas	0.311	0.554	0.800	0.074

Fuente: Elaboración propia

Apéndice 4. Datos para calcular ecuaciones de tendencia

ESTACION	FECHA	AREA	PERIM. MOJADO	RADIO HIDRAULICO	Ht	VELOCIDAD MEDIA
Alotenango	29-03-04	0.927	4.875	0.190	0.300	0.314
Alotenango	30-07-04	2.111	5.556	0.380	0.600	0.638
Alotenango	16-03-07	1.269	3.670	0.346	0.520	0.614
Alotenango	24-10-07	3.821	7.224	0.529	0.960	0.842
Alotenango	10-09-12	3.090	7.684	0.402	0.720	0.809
Alotenango	10-07-13	2.630	6.877	0.382	0.600	0.778
Alotenango	17-10-13	3.075	6.263	0.491	0.940	0.882
Alotenango	18-03-14	2.404	6.426	0.374	0.760	0.786
Alotenango	09-07-14	2.197	5.989	0.367	0.560	0.776
Alotenango	06-11-14	3.109	7.335	0.424	0.750	0.705
Alotenango	27-03-15	2.190	5.464	0.401	0.580	0.542
Alotenango	19-08-15	2.970	6.412	0.463	0.735	0.581
Alotenango	22-03-16	3.045	7.708	0.395	0.650	0.410
Alotenango	25-11-16	2.561	6.854	0.374	0.550	0.527

ESTACION	FECHA	AREA	PERIM. MOJADO	RADIO HIDRAULICO	Ht	VELOCIDAD MEDIA
Alotenango II	18-03-14	2.404	6.426	0.374	0.760	0.786
Alotenango II	09-07-14	2.197	5.989	0.367	0.560	0.776
Alotenango II	06-11-14	3.109	7.335	0.424	0.750	0.705

Continuación apéndice 4

ESTACION	FECHA	AREA	PERIM. MOJADO	RADIO HIDRAULICO	Ht	VELOCIDAD MEDIA
Cenizas	13-03-02	4.190	20.068	0.209	0.380	0.436
Cenizas	13-03-02	3.950	20.094	0.197	0.460	0.463
Cenizas	20-06-02	19.499	47.079	0.414	0.970	0.954
Cenizas	10-07-02	8.729	22.450	0.389	0.740	0.730
Cenizas	02-09-03	26.775	53.213	0.503	1.360	1.226
Cenizas	02-09-03	0.863	9.511	0.091	0.200	0.428
Cenizas	23-09-03	20.432	52.019	0.393	0.900	1.185
Cenizas	30-03-04	3.772	12.652	0.298	0.550	0.786
Cenizas	30-03-04	0.374	4.872	0.077	0.180	0.125
Cenizas	23-09-04	30.405	51.534	0.590	1.250	1.474
Cenizas	23-09-04	2.370	15.013	0.158	0.230	0.600
Cenizas	29-07-05	15.222	34.298	0.444	0.850	1.205
Cenizas	20-07-06	35.539	64.229	0.553	1.170	1.319
Cenizas	15-06-07	13.616	18.207	0.748	1.195	0.981
Cenizas	05-05-08	4.689	16.722	0.280	0.630	0.491
Cenizas	01-07-08	7.339	19.386	0.379	0.510	1.501
Cenizas	07-11-08	6.485	20.286	0.320	0.500	1.585
Cenizas	14-11-08	7.904	19.979	0.396	0.700	1.208
Cenizas	04-05-10	6.495	16.584	0.392	0.600	0.486
Cenizas	01-03-11	4.743	18.946	0.250	0.600	0.586
Cenizas	11-05-11	4.093	11.396	0.359	0.670	0.506
Cenizas	01-06-11	10.714	21.561	0.497	0.910	0.647
Cenizas	13-02-12	4.246	13.343	0.318	0.570	0.425
Cenizas	29-03-12	2.080	11.548	0.180	0.300	0.321
Cenizas	09-05-12	5.174	13.307	0.389	0.590	1.152
Cenizas	18-06-12	11.947	25.950	0.460	0.850	0.785
Cenizas	10-10-13	20.358	26.231	0.776	1.700	2.106
Cenizas	24-02-14	3.915	10.299	0.380	0.710	0.456
Cenizas	19-05-14	9.949	20.806	0.478	0.730	0.572
Cenizas	22-09-14	8.185	21.115	0.388	0.615	1.577
Cenizas	17-11-14	8.594	20.532	0.419	0.800	0.804
Cenizas	14-01-15	3.950	13.107	0.301	0.540	0.433
Cenizas	18-02-15	3.156	9.029	0.350	0.570	0.303
Cenizas	19-04-16	3.974	13.998	0.284	0.600	0.257
Cenizas	22-11-16	8.285	18.608	0.445	0.750	0.681

ESTACION	FECHA	AREA	PERIM. MOJADO	RADIO HIDRAULICO	Ht	VELOCIDAD MEDIA
Guacalate	30-03-04	3.967	13.534	0.293	0.450	0.677
Guacalate	30-03-04	1.125	5.127	0.219	0.310	0.640
Guacalate	23-09-04	0.547	4.453	0.123	0.180	0.669
Guacalate	23-09-04	10.260	17.234	0.595	1.200	1.801
Guacalate	29-07-05	6.536	18.937	0.345	0.550	1.406
Guacalate	29-07-05	2.029	12.235	0.166	0.270	1.210

Continuación apéndice 4

ESTACION	FECHA	AREA	PERIM. MOJADO	RADIO HIDRAULICO	Ht	VELOCIDAD MEDIA
San Juan Gascon	15-10-02	0.040	1.166	0.035	0.060	0.278
San Juan Gascon	15-10-02	0.048	1.166	0.041	0.060	0.314
San Juan Gascon	03-09-03	0.054	1.468	0.037	0.050	0.991
San Juan Gascon	24-09-03	0.126	2.859	0.044	0.070	1.017
San Juan Gascon	30-07-04	0.059	1.396	0.042	0.060	0.291
San Juan Gascon	16-06-05	0.052	1.361	0.038	0.060	0.632
San Juan Gascon	16-09-05	0.070	1.511	0.046	0.090	0.472
San Juan Gascon	07-03-06	0.055	1.367	0.040	0.060	0.159
San Juan Gascon	19-07-06	0.095	1.675	0.057	0.100	0.342
San Juan Gascon	06-09-06	0.093	2.337	0.040	0.070	0.373
San Juan Gascon	16-03-07	0.042	0.881	0.047	0.070	0.170
San Juan Gascon	24-10-07	0.122	2.091	0.058	0.080	0.345
San Juan Gascon	24-10-07	0.122	2.091	0.058	0.080	0.345
San Juan Gascon	01-08-08	0.121	2.092	0.058	0.080	0.598
San Juan Gascon	12-11-08	0.118	2.159	0.055	0.070	0.253
San Juan Gascon	10-09-12	0.121	2.652	0.046	0.090	0.427
San Juan Gascon	10-07-13	0.100	2.262	0.044	0.055	0.333
San Juan Gascon	18-09-13	0.170	2.445	0.070	0.100	0.804
San Juan Gascon	17-10-13	0.106	2.185	0.049	0.070	0.436
San Juan Gascon	18-03-14	0.104	1.663	0.063	0.080	0.233
San Juan Gascon	09-07-14	0.115	1.934	0.059	0.080	0.236
San Juan Gascon	06-11-14	0.138	2.154	0.064	0.090	0.386
San Juan Gascon	27-03-15	0.078	1.418	0.055	0.100	0.576
San Juan Gascon	27-03-15	0.179	1.995	0.090	0.190	0.584
San Juan Gascon	19-10-15	1.320	3.178	0.415	0.660	1.229
San Juan Gascon	22-03-16	0.176	2.266	0.078	0.110	0.270

Continuación apéndice 4.

ESTACION	FECHA	AREA	PERIM. MOJADO	RADIO HIDRAULICO	Ht	VELOCIDAD MEDIA
San Luis Las carretas	11-07-02	1.021	6.199	0.165	0.250	0.756
San Luis Las carretas	10-09-02	1.707	7.373	0.232	0.315	0.550
San Luis Las carretas	12-05-03	1.086	5.799	0.187	0.250	0.385
San Luis Las carretas	03-09-03	1.144	6.282	0.182	0.270	0.758
San Luis Las carretas	24-09-03	2.165	6.602	0.328	0.465	0.972
San Luis Las carretas	29-03-04	1.141	6.168	0.185	0.320	0.509
San Luis Las carretas	16-09-05	1.301	5.423	0.240	0.410	0.826
San Luis Las carretas	19-07-06	1.239	4.971	0.249	0.350	1.104
San Luis Las carretas	06-09-06	0.975	4.858	0.201	0.400	0.824
San Luis Las carretas	16-03-07	1.323	5.314	0.249	0.480	0.521
San Luis Las carretas	24-10-07	2.007	5.304	0.378	0.460	0.728
San Luis Las carretas	12-11-08	1.487	5.386	0.276	0.400	0.653
San Luis Las carretas	10-09-12	1.309	4.446	0.294	0.450	0.625
San Luis Las carretas	07-06-13	1.573	4.880	0.322	0.440	0.559
San Luis Las carretas	07-06-13	1.573	4.880	0.322	0.440	0.601
San Luis Las carretas	07-06-13	1.573	4.880	0.322	0.440	0.617
San Luis Las carretas	10-07-13	1.575	5.085	0.310	0.460	0.719
San Luis Las carretas	18-09-13	1.672	5.014	0.333	0.520	0.764
San Luis Las carretas	17-10-13	1.556	4.923	0.316	0.440	0.822
San Luis Las carretas	18-03-14	1.235	4.523	0.273	0.405	0.862
San Luis Las carretas	09-07-14	1.704	4.822	0.353	0.460	0.731
San Luis Las carretas	18-09-14	1.529	4.644	0.329	0.380	0.658
San Luis Las carretas	06-11-14	2.132	4.926	0.433	0.560	0.598
San Luis Las carretas	30-03-15	1.114	5.081	0.219	0.340	0.545
San Luis Las carretas	13-08-15	1.516	5.017	0.302	0.450	0.586
San Luis Las carretas	22-03-16	1.139	4.929	0.231	0.310	0.543
San Luis Las carretas	25-11-16	1.468	4.725	0.311	0.430	0.554

Fuente: Elaboración propia.

Apéndice 5. Resultados corregidos para determinar “n”

ESTACION	FECHA	n	ESTACION	FECHA	n
Alotenango	29-03-04	0.107	Cenizas	20-06-02	0.053
Alotenango	30-07-04	0.129	Cenizas	10-07-02	0.063
Alotenango	16-03-07	0.131	Cenizas	02-09-03	0.043
Alotenango	24-10-07	0.116	Cenizas	02-09-03	0.039
Alotenango	10-09-12	0.120	Cenizas	23-09-03	0.055
Alotenango	10-07-13	0.130	Cenizas	30-03-04	0.063
Alotenango	17-10-13	0.112	Cenizas	30-03-04	0.035
Alotenango	18-03-14	0.110	Cenizas	23-09-04	0.053
Alotenango	09-07-14	0.131	Cenizas	23-09-04	0.055
Alotenango	06-11-14	0.121	Cenizas	29-07-05	0.062
Alotenango	27-03-15	0.137	Cenizas	20-07-06	0.054
Alotenango	19-08-15	0.130	Cenizas	15-06-07	0.065
Alotenango	22-03-16	0.127	Cenizas	05-05-08	0.056
Alotenango	25-11-16	0.134	Cenizas	01-07-08	0.077
Alotenango II	18-03-14	0.072	Cenizas	07-11-08	0.069
Alotenango II	09-07-14	0.086	Cenizas	14-11-08	0.066
Alotenango II	06-11-14	0.079	Cenizas	04-05-10	0.072
Cenizas	13-03-02	0.058	Cenizas	01-03-11	0.054
Cenizas	13-03-02	0.052	Cenizas	11-05-11	0.064

Continuación apéndice 5

ESTACION	FECHA	n	ESTACION	FECHA	n
Cenizas	01-06-11	0.064	Guacalate	29-07-05	0.014
Cenizas	13-02-12	0.065	San Juan Gascon	15-10-02	0.033
Cenizas	29-03-12	0.057	San Juan Gascon	15-10-02	0.040
Cenizas	09-05-12	0.073	San Juan Gascon	03-09-03	0.049
Cenizas	18-06-12	0.064	San Juan Gascon	24-09-03	0.033
Cenizas	10-10-13	0.044	San Juan Gascon	30-07-04	0.041
Cenizas	24-02-14	0.064	San Juan Gascon	16-06-05	0.037
Cenizas	19-05-14	0.073	San Juan Gascon	16-09-05	0.022
Cenizas	22-09-14	0.071	San Juan Gascon	07-03-06	0.039
Cenizas	17-11-14	0.063	San Juan Gascon	19-07-06	0.023
Cenizas	14-01-15	0.064	San Juan Gascon	06-09-06	0.029
Cenizas	18-02-15	0.069	San Juan Gascon	16-03-07	0.067
Cenizas	19-04-16	0.058	San Juan Gascon	24-10-07	0.076
Cenizas	22-11-16	0.007	San Juan Gascon	24-10-07	0.076
Guacalate	30-03-04	0.011	San Juan Gascon	01-08-08	0.076
Guacalate	30-03-04	0.015	San Juan Gascon	12-11-08	0.074
Guacalate	23-09-04	0.020	San Juan Gascon	10-09-12	0.064
Guacalate	23-09-04	0.004	San Juan Gascon	10-07-13	0.065
Guacalate	29-07-05	0.009	San Juan Gascon	18-09-13	0.085

Continuación apéndice 5

ESTACION	FECHA	n	ESTACION	FECHA	n
San Juan Gascon	17-10-13	0.068	San Luis Las carretas	12-11-08	0.062
San Juan Gascon	18-03-14	0.080	San Luis Las carretas	10-09-12	0.061
San Juan Gascon	09-07-14	0.077	San Luis Las carretas	07-06-13	0.066
San Juan Gascon	06-11-14	0.080	San Luis Las carretas	07-06-13	0.066
San Juan Gascon	27-03-15	0.072	San Luis Las carretas	07-06-13	0.066
San Juan Gascon	27-03-15	0.093	San Luis Las carretas	10-07-13	0.063
San Juan Gascon	19-10-15	0.170	San Luis Las carretas	18-09-13	0.063
San Juan Gascon	22-03-16	0.090	San Luis Las carretas	17-10-13	0.065
San Luis Las carretas	11-07-02	0.050	San Luis Las carretas	18-03-14	0.061
San Luis Las carretas	10-09-02	0.059	San Luis Las carretas	09-07-14	0.069
San Luis Las carretas	12-05-03	0.054	San Luis Las carretas	18-09-14	0.071
San Luis Las carretas	03-09-03	0.052	San Luis Las carretas	06-11-14	0.072
San Luis Las carretas	24-09-03	0.065	San Luis Las carretas	30-03-15	0.056
San Luis Las carretas	29-03-04	0.051	San Luis Las carretas	13-08-15	0.063
San Luis Las carretas	16-09-05	0.056	San Luis Las carretas	22-03-16	0.059
San Luis Las carretas	19-07-06	0.060	San Luis Las carretas	25-11-16	0.065
San Luis Las carretas	06-09-06	0.050		Σ	8.204
San Luis Las carretas	16-03-07	0.053		Promedio	0.074
San Luis Las carretas	24-10-07	0.072			

Fuente: Elaboración propia.

Apéndice 6. **Fotografías río Achiguate-Guacalate**



Foto 1. Cauce sobre estación Alotenango



Foto 2. Cauce sobre estación Ciudad Vieja



Foto 3. Cauce sobre estación Pastores

ANEXOS

Anexo 1. Tabla de aforos en río Achiguate-Guacalate 2002-2016

ESTACION	FECHA	AREA	PERIM. MOJADO	RADIO HIDRAULICO	Ht	VELOCIDAD MEDIA	CAUDAL	FACTOR HIDRAULICO
Alotenango	29-03-04	0.927	4.875	0.190	0.300	0.314	0.291	0.949
Alotenango	30-07-04	2.111	5.556	0.380	0.600	0.638	1.347	1.216
Alotenango	16-03-07	1.269	3.670	0.346	0.520	0.614	0.779	1.247
Alotenango	24-10-07	3.821	7.224	0.529	0.960	0.842	3.218	1.288
Alotenango	10-09-12	3.090	7.684	0.402	0.720	0.809	2.500	1.485
Alotenango	10-07-13	2.630	6.877	0.382	0.600	0.778	2.045	1.476
Alotenango	17-10-13	3.075	6.263	0.491	0.940	0.882	2.712	1.417
Alotenango	18-03-14	2.404	6.426	0.374	0.760	0.786	1.890	1.514
Alotenango	09-07-14	2.197	5.989	0.367	0.560	0.776	1.704	1.514
Alotenango	06-11-14	3.109	7.335	0.424	0.750	0.705	2.193	1.250
Alotenango	27-03-15	2.190	5.464	0.401	0.580	0.542	1.187	0.997
Alotenango	19-08-15	2.970	6.412	0.463	0.735	0.581	1.725	0.970
Alotenango	22-03-16	3.045	7.708	0.395	0.650	0.410	1.250	0.762
Alotenango	25-11-16	2.561	6.854	0.374	0.550	0.527	1.349	1.016
Alotenango II	18-03-14	2.404	6.426	0.374	0.760	0.786	1.890	1.514
Alotenango II	09-07-14	2.197	5.989	0.367	0.560	0.776	1.704	1.514
Alotenango II	06-11-14	3.109	7.335	0.424	0.750	0.705	2.193	1.250
Cenizas	13-03-02	4.190	20.068	0.209	0.380	0.436	1.827	2.120
Cenizas	13-03-02	3.950	20.094	0.197	0.460	0.463	1.830	2.209
Cenizas	20-06-02	19.499	47.079	0.414	0.970	0.954	18.609	1.761
Cenizas	10-07-02	8.729	22.450	0.389	0.740	0.730	6.370	0.692
Cenizas	02-09-03	26.775	53.213	0.503	1.360	1.226	32.837	2.096
Cenizas	02-09-03	0.863	9.511	0.091	0.200	0.428	0.369	2.056
Cenizas	23-09-03	20.432	52.019	0.393	0.900	1.185	24.203	2.072
Cenizas	30-03-04	3.772	12.652	0.298	0.550	0.786	2.965	1.957
Cenizas	30-03-04	0.374	4.872	0.077	0.180	0.125	0.047	1.191
Cenizas	23-09-04	30.405	51.534	0.590	1.250	1.474	44.824	1.147
Cenizas	23-09-04	2.370	15.013	0.158	0.230	0.600	1.423	2.869
Cenizas	29-07-05	15.222	34.298	0.444	0.850	1.205	18.350	3.391
Cenizas	20-07-06	35.539	64.229	0.553	1.170	1.319	46.881	2.242
Cenizas	15-06-07	13.616	18.207	0.748	1.195	0.981	13.360	0.908
Cenizas	05-05-08	4.689	16.722	0.280	0.630	0.491	2.304	1.474
Cenizas	01-07-08	7.339	19.386	0.379	0.510	1.501	11.020	1.001
Cenizas	07-11-08	6.485	20.286	0.320	0.500	1.585	10.280	1.031
Cenizas	14-11-08	7.904	19.979	0.396	0.700	1.208	9.550	0.912
Cenizas	04-05-10	6.495	16.584	0.392	0.600	0.486	3.158	1.007
Cenizas	01-03-11	4.743	18.946	0.250	0.600	0.586	2.778	2.163

Continuación anexo 1.

	ESTACION	FECHA	AREA	PERIM. MOJADO	RADIO HIDRAULICO	Ht	VELOCIDAD MEDIA	CAUDAL	FACTOR HIDRAULICO
38	Cenizas	11-05-11	4.093	11.396	0.359	0.670	0.506	2.070	1.316
39	Cenizas	01-06-11	10.714	21.561	0.497	0.910	0.647	6.927	2.108
40	Cenizas	13-02-12	4.246	13.343	0.318	0.570	0.425	1.805	4.614
41	Cenizas	29-03-12	2.080	11.548	0.180	0.300	0.321	0.668	2.494
42	Cenizas	09-05-12	5.174	13.307	0.389	0.590	1.152	5.960	0.870
43	Cenizas	18-06-12	11.947	25.950	0.460	0.850	0.785	9.376	0.936
44	Cenizas	10-10-13	20.358	26.231	0.776	1.700	2.106	42.872	0.963
45	Cenizas	24-02-14	3.915	10.299	0.380	0.710	0.456	1.786	0.870
46	Cenizas	19-05-14	9.949	20.806	0.478	0.730	0.572	5.695	0.936
47	Cenizas	22-09-14	8.185	21.115	0.388	0.615	1.577	12.911	2.967
48	Cenizas	17-11-14	8.594	20.532	0.419	0.800	0.804	6.907	1.436
49	Cenizas	14-01-15	3.950	13.107	0.301	0.540	0.433	1.710	0.963
50	Cenizas	18-02-15	3.156	9.029	0.350	0.570	0.303	0.957	0.611
51	Cenizas	19-04-16	3.974	13.998	0.284	0.600	0.257	1.023	0.596
52	Cenizas	22-11-16	8.285	18.608	0.445	0.750	0.681	5.645	1.168
53	Guacalate	30-03-04	3.967	13.534	0.293	0.450	0.677	2.687	1.535
54	Guacalate	30-03-04	1.125	5.127	0.219	0.310	0.640	0.720	1.760
55	Guacalate	23-09-04	0.547	4.453	0.123	0.180	0.669	0.366	2.711
56	Guacalate	23-09-04	10.260	17.234	0.595	1.200	1.801	18.476	2.544
57	Guacalate	29-07-05	6.536	18.937	0.345	0.550	1.406	9.192	2.858
58	Guacalate	29-07-05	2.029	12.235	0.166	0.270	1.210	2.455	4.008
59	San Juan Gascon	15-10-02	0.040	1.166	0.035	0.060	0.278	0.011	2.622
60	San Juan Gascon	15-10-02	0.048	1.166	0.041	0.060	0.314	0.015	2.644
61	San Juan Gascon	03-09-03	0.054	1.468	0.037	0.050	0.991	0.054	8.920
62	San Juan Gascon	24-09-03	0.126	2.859	0.044	0.070	1.017	0.128	8.137
63	San Juan Gascon	30-07-04	0.059	1.396	0.042	0.060	0.291	0.017	2.401
64	San Juan Gascon	16-06-05	0.052	1.361	0.038	0.060	0.632	0.033	5.572
65	San Juan Gascon	16-09-05	0.070	1.511	0.046	0.090	0.472	0.033	3.664
66	San Juan Gascon	07-03-06	0.055	1.367	0.040	0.060	0.159	0.009	1.351
67	San Juan Gascon	19-07-06	0.095	1.675	0.057	0.100	0.342	0.032	2.316
68	San Juan Gascon	06-09-06	0.093	2.337	0.040	0.070	0.373	0.035	3.197
69	San Juan Gascon	16-03-07	0.042	0.881	0.047	0.070	0.170	0.007	1.301
70	San Juan Gascon	24-10-07	0.122	2.091	0.058	0.080	0.345	0.042	2.294
71	San Juan Gascon	24-10-07	0.122	2.091	0.058	0.080	0.345	0.042	2.294
72	San Juan Gascon	01-08-08	0.121	2.092	0.058	0.080	0.598	0.073	3.992
73	San Juan Gascon	12-11-08	0.118	2.159	0.055	0.070	0.253	0.030	1.756
74	San Juan Gascon	10-09-12	0.121	2.652	0.046	0.090	0.427	0.052	3.352

Continuación anexo 1

	ESTACION	FECHA	AREA	PERIM. MOJADO	RADIO HIDRAULICO	Ht	VELOCIDAD MEDIA	CAUDAL	FACTOR HIDRAULICO
75	San Juan Gascon	10-07-13	0.100	2.262	0.044	0.055	0.333	0.033	2.662
76	San Juan Gascon	18-09-13	0.170	2.445	0.070	0.100	0.804	0.137	4.756
77	San Juan Gascon	17-10-13	0.106	2.185	0.049	0.070	0.436	0.046	3.269
78	San Juan Gascon	18-03-14	0.104	1.663	0.063	0.080	0.233	0.024	1.479
79	San Juan Gascon	09-07-14	0.115	1.934	0.059	0.080	0.236	0.027	1.553
80	San Juan Gascon	06-11-14	0.138	2.154	0.064	0.090	0.386	0.053	2.416
81	San Juan Gascon	27-03-15	0.078	1.418	0.055	0.100	0.576	0.045	3.990
82	San Juan Gascon	27-03-15	0.179	1.995	0.090	0.190	0.584	0.105	2.911
83	San Juan Gascon	19-10-15	1.320	3.178	0.415	0.660	1.229	1.622	2.208
84	San Juan Gascon	22-03-16	0.176	2.266	0.078	0.110	0.270	0.048	1.486
85	San Luis Las carretas	11-07-02	1.021	6.199	0.165	0.250	0.756	0.772	2.518
86	San Luis Las carretas	10-09-02	1.707	7.373	0.232	0.315	0.550	0.940	1.460
87	San Luis Las carretas	12-05-03	1.086	5.799	0.187	0.250	0.385	0.419	1.177
88	San Luis Las carretas	03-09-03	1.144	6.282	0.182	0.270	0.758	0.867	2.360
89	San Luis Las carretas	24-09-03	2.165	6.602	0.328	0.465	0.972	2.105	2.044
90	San Luis Las carretas	29-03-04	1.141	6.168	0.185	0.320	0.509	0.581	1.568
91	San Luis Las carretas	16-09-05	1.301	5.423	0.240	0.410	0.826	1.074	2.140
92	San Luis Las carretas	19-07-06	1.239	4.971	0.249	0.350	1.104	1.368	2.788
93	San Luis Las carretas	06-09-06	0.975	4.858	0.201	0.400	0.824	0.804	2.405
94	San Luis Las carretas	16-03-07	1.323	5.314	0.249	0.480	0.521	0.689	1.317
95	San Luis Las carretas	24-10-07	2.007	5.304	0.378	0.460	0.728	1.461	1.391
96	San Luis Las carretas	12-11-08	1.487	5.386	0.276	0.400	0.653	0.971	1.540
97	San Luis Las carretas	10-09-12	1.309	4.446	0.294	0.450	0.625	0.818	1.412
98	San Luis Las carretas	07-06-13	1.573	4.880	0.322	0.440	0.559	0.879	1.190
99	San Luis Las carretas	07-06-13	1.573	4.880	0.322	0.440	0.601	0.945	1.278
100	San Luis Las carretas	07-06-13	1.573	4.880	0.322	0.440	0.617	0.970	1.313
101	San Luis Las carretas	10-07-13	1.575	5.085	0.310	0.460	0.719	1.132	1.570
102	San Luis Las carretas	18-09-13	1.672	5.014	0.333	0.520	0.764	1.278	1.589
103	San Luis Las carretas	17-10-13	1.556	4.923	0.316	0.440	0.822	1.279	1.771
104	San Luis Las carretas	18-03-14	1.235	4.523	0.273	0.405	0.862	1.064	2.048
105	San Luis Las carretas	09-07-14	1.704	4.822	0.353	0.460	0.731	1.246	1.463
106	San Luis Las carretas	18-09-14	1.529	4.644	0.329	0.380	0.658	1.007	1.380
107	San Luis Las carretas	06-11-14	2.132	4.926	0.433	0.560	0.598	1.275	1.046
108	San Luis Las carretas	30-03-15	1.114	5.081	0.219	0.340	0.545	0.607	1.499
109	San Luis Las carretas	13-08-15	1.516	5.017	0.302	0.450	0.586	0.888	1.302
110	San Luis Las carretas	22-03-16	1.139	4.929	0.231	0.310	0.543	0.618	1.442
111	San Luis Las carretas	25-11-16	1.468	4.725	0.311	0.430	0.554	0.813	1.207

Fuente: INSIVUMEH.