



UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA
FACULTAD DE INGENIERÍA
ESCUELA REGIONAL DE INGENIERÍA SANITARIA

EVALUACIÓN DE LA FÓRMULA DE MANNING EN EL RIO OSTUA

ING. DEYMAN VLADIMIR PASTORA FLORES

ASESORADO POR EL ING. M.Sc. JUAN JOSÉ SANDOVAL

GUATEMALA, NOVIEMBRE DE 2010.

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA



**ESCUELA REGIONAL DE INGENIERÍA SANITARIA
Y RECURSOS HIDRÁULICOS -ERIS-
A NIVEL DE POSTGRADO**

EVALUACIÓN DE LA FÓRMULA DE MANNING EN EL RIO OSTUA

ESTUDIO ESPECIAL

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

POR:

ING. DEYMAN VLADIMIR PASTORA FLORES

ASESORADO POR EL ING. M.Sc. JUAN JOSÉ SANDOVAL

COMO REQUISITO PREVIO PARA OPTAR AL GRADO ACADÉMICO DE:

**MAGISTER SCIENTIFICAE / MAESTRO EN CIENCIAS
EN RECURSOS HIDRÁULICOS, OPCIÓN HIDROLOGÍA
GUATEMALA, NOVIEMBRE DE 2010.**

**UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA
FACULTAD DE INGENIERÍA**



NÓMINA DE JUNTA DIRECTIVA

DECANO	Ing. Murphy Olympo Paíz Recinos
VOCAL I	Inga. Glenda Patricia García Soria
VOCAL II	Inga. Alba Maritza Guerrero de López
VOCAL III	Ing. Miguel Ángel Dávila Calderón
VOCAL IV	Br. Luis Pedro Ortiz de León
VOCAL V	P.A. José Alfredo Ortiz Herincx
SECRETARIO	Ing. Hugo Humberto Rivera Pérez

TRIBUNAL QUE PRACTICÓ EL EXAMEN GENERAL PRIVADO

DIRECTOR ERIS	M.Sc. Ing. Pedro Cipriano Saravia Celis
EXAMINADOR	M.Sc. Ing. Elfego Odvin Orozco Fuentes
EXAMINADOR	M.Sc. Ing. Juan José Sandoval
EXAMINADOR	M. Sc. Ing. Joram Matías Gil.

HONORABLE TRIBUNAL EXAMINADOR

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

EVALUACION DE LA FÓRMULA DE MANNING EN EL RIO OSTUA.

tema que me fuera aprobado por la Comisión de Admisión y Otorgamiento de Grado de la Escuela Regional de Ingeniería Sanitaria y Recursos Hidráulicos, el 17 de noviembre de 2,010.

Atentamente,

ING. DEYMAN VLADIMIR PASTORA FLORES

Guatemala, 17 de noviembre de 2010

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

UNIVERSIDAD DE
SAN CARLOS DE GUATEMALA



Facultad de Ingeniería
Escuela Regional de Ingeniería Sanitaria
y Recursos Hidráulicos

Habiendo revisado el documento denominado "**Evaluación de la fórmula de Manning en el río Ostúa**", que fuera elaborado por el Ing. **Deyman Vladimir Pastora Flores**, 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,

Edificio de ERIS,
Instalaciones 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

Telfax (502) 2418 9124

www.ingenieria-usac.edu.gt

"ID Y ENSEÑAD A TODOS"

MSc. Ing. Juan José Sandoval
Asesor del Estudio

Guatemala, 18 de noviembre de 2010

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

UNIVERSIDAD DE
SAN CARLOS DE GUATEMALA



Facultad de Ingeniería
Escuela Regional de Ingeniería Sanitaria
y Recursos Hidráulicos

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:

Evaluación de la fórmula de Manning en el río Ostúa

presentado por el estudiante,

Ingeniero Deyman Vladimir Pastora Flores

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. Elfego Orozco
Coordinador Maestría de Recursos Hidráulicos

Edificio de ERIS,
Instalaciones 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

Telfax (502) 2418 9124

www.ingenieria-usac.edu.gt

UNIVERSIDAD DE
SAN CARLOS DE GUATEMALA



Facultad de Ingeniería
Escuela Regional de Ingeniería Sanitaria
y Recursos Hidráulicos

Edificio de ERIS,
Instalaciones 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

Telfax (502) 2418 9124

www.ingenieria-usac.edu.gt

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. Joram Matias Gil Larroj, MSc. Ing. Juan José Sandoval y MSc. Ing. Elfege Odvin Orozco Fuentes; así como el visto bueno del Coordinador de la Maestría en Recursos Hidráulicos, MSc. Ing. Elfege Odvin Orozco Fuentes y del trabajo del estudiante: Ingeniero Deyman Vladimir Pastora Flores, titulado "Evaluación de la fórmula de Manning en el río Ostúa", en representación de la Comisión de Admisión y Otorgamiento de Grado, procede a la autorización del mismo.

Guatemala 19 de noviembre de 2010.

IMPRIMASE

"ID Y ENSEÑAD A TODOS"

MSc. Ing. Pedro Saravia Celis
DIRECTOR

Escuela Regional de Ingeniería Sanitaria y
Recursos Hidráulicos

DEDICATORIA

En primer lugar le dedico todo este trabajo a Dios, ya que solo El es el único que a permitido que se realice cada etapa de este recorrido para la realización de la maestría y este estudio.

En segundo lugar a toda mi familia que a pesar que físicamente no han estado en Guatemala conmigo, siempre he tenido todas sus oraciones y buenos deseos para mi desempeño en este país que me ha recibido tan bien.

A mis amigos de la maestría, por todo el apoyo que nos hemos brindado a lo largo de estos meses y con los cuales hemos superado cada prueba que se nos vino, hasta el culmen de nuestros estudios.

A todos los grandes amigos y amigas en Guatemala los cuales nos han hecho sentir como en casa, y que nos han demostrado el calor humano que tienen los guatemaltecos.

RESUMEN

En el medio de la hidrología, la ecuación de Manning es una de las ecuaciones más usadas para la obtención de caudales, pero esta ecuación se desarrollo en principio para canales artificiales y con el tiempo se desarrollo también para flujos de corriente natural.

Por lo anterior el presente trabajo, desarrolla la evaluación de la ecuación de Manning en un flujo de corriente natural, que para este caso se escogió el rio Ostua de Guatemala, en el cual se cuenta con dos estaciones hidrométricas, Las Lechuzas y Las Cruces, para las cuales se obtuvieron registros de aforos de varios años seguidos y para todo el año hidrológico.

Con los datos de aforo, se presenta la metodología para la obtención del coeficiente de rugosidad a partir de los parámetros geométricos y los caudales proporcionados de las estaciones, encontrándose así un coeficiente promedio con la totalidad de los datos y también encontrando los coeficientes de rugosidad por época seca y lluviosa.

Además se presentan los caudales obtenidos por medio de la ecuación de Manning, utilizando el coeficiente de rugosidad dado por el análisis realizado y comparando estos resultados con otros métodos de obtención de caudales, que son el de Área vrs Velocidad media y el de la utilización de la ecuación características de la curva de descarga de la estación.

INDICE

INDICE DE TABLAS	v
INDICE DE FIGURAS	ix
ABREVIATURAS Y SIGLAS	xiii
UNIDADES DE MEDIDA	xiii
NOMENCLATURA.....	xiii
GLOSARIO	xiv
1. INTRODUCCIÓN	1
1.1. ANTECEDENTES:.....	1
1.2. JUSTIFICACIÓN.....	2
1.3. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA	3
1.4. HIPOTESIS.....	4
1.5. OBJETIVOS	4
1.5.1. Objetivo General.....	4
1.5.2. Objetivos Específicos.....	4
2. MARCO CONCEPTUAL	5
2.1. Factores que afectan el coeficiente de rugosidad de Manning.	6
2.2. Métodos visuales para la determinación del coeficiente de rugosidad “n”	9
2.2.1. Tablas de coeficiente de rugosidad de Manning.....	9
2.2.2. Ilustraciones de canales con diferentes rugosidades.....	11

2.3.	Métodos analíticos	12
2.3.1.	Nomograma para resolución de fórmula de Manning.	12
2.3.2.	Métodos de elaboración de curvas de descarga.....	13
2.3.2.1.	Aplicación de la fórmula de Manning.	13
2.3.2.2.	Aplicación del método Área – Velocidad Media.....	15
2.3.2.3.	Curva analítica de primer tipo	17
3.	CARACTERISTICAS GENERALES	19
3.1.	ZONA DE ESTUDIO.....	19
3.2.	División política	20
4.	METODOLOGIA A SEGUIR.....	29
5.	DATOS DE ESTUDIO	31
5.1.	Datos de estudio Estación Las Cruces.....	31
5.2.	Datos de estudio Estación Las Lechuzas.....	32
6.	ANALISIS DE DATOS	35
6.1.	Análisis para la estación Las Cruces.....	35
6.1.1.	Aplicación de la fórmula de Manning.	35
6.1.2.	Aplicación de la fórmula de Manning para época seca y de invierno.....	38
6.1.3.	Aplicación del método Área – Velocidad Media.	41
6.1.4.	Aplicación del método Área – Velocidad Media para época seca y lluviosa. 42	
6.1.5.	Curva analítica de primer tipo	45

6.1.6.	Curva analítica de primer tipo para época seca y lluviosa	47
6.1.7.	Comparación de caudales generados por los tres métodos en la estación Las Cruces.....	50
6.1.8.	Comparación de caudales generados por los tres métodos en la estación Las Cruces para época seca y lluviosa.....	52
6.2.	Análisis para la estación Las Lechuzas.	54
6.2.1.	Aplicación de la fórmula de Manning.	54
6.2.2.	Aplicación de la fórmula de Manning para época seca y de invierno.	57
6.2.3.	Aplicación del método Área – Velocidad Media.....	60
6.2.4.	Aplicación del método Área – Velocidad Media para época seca y de invierno.	62
6.2.5.	Curva analítica de primer tipo	65
6.2.6.	Curva analítica de primer tipo para época seca y lluviosa	67
6.2.7.	Comparación de caudales generados por los tres métodos en la estación Las Lechuzas.....	70
6.2.8.	Comparación de caudales generados por los tres métodos en la estación Las Cruces para época seca y lluviosa.....	72
7.	CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	75
7.1.	CONCLUSIONES	75
7.2.	RECOMENDACIONES	76
	BIBLIOGRAFIA.....	77
	ANEXOS	79

INDICE DE TABLAS

Tabla 3. 1. División política Cuenca Rio Ostua-Guija	25
Tabla 5. 1. Datos de aforos para la estación hidrométrica Las Cruces del rio Ostua.	31
Tabla 5. 2. Datos de aforos para la estación hidrométrica Las Lechuzas del rio Ostua.	32
Tabla 6. 1. Factores geométricos para la estación Las Cruces	35
Tabla 6. 2. Calculo del valor n y Caudales con la ecuación de Manning, estación Las Cruces.	37
Tabla 6. 3. Calculo del valor n y Caudales con la ecuación de Manning para época seca, Las Cruces.	38
Tabla 6. 4. Calculo del valor n y Caudales con la ecuación de Manning para época lluviosa, Las Cruces.	39
Tabla 6. 5. Caudales generados a partir del método área – velocidad estación Las Cruces.	42
Tabla 6. 6. Caudales generados a partir del método área – velocidad estación Las Cruces época seca.	44
Tabla 6. 7. Caudales generados a partir del método área – velocidad estación Las Cruces época lluviosa.	44
Tabla 6. 8. Caudales generados a partir de la ecuación de la curva de descarga estación Las Cruces	46
Tabla 6. 9. Caudales generados a partir de la ecuación de la curva de descarga estación Las Cruces época seca	48

Tabla 6. 10. Caudales generados a partir de la ecuación de la curva de descarga estación Las Cruces época lluviosa	48
Tabla 6. 11. Caudales generados por los tres métodos para la estación Las Cruces.	50
Tabla 6. 12. Caudales generados por los tres métodos para la estación Las Cruces época seca.....	52
Tabla 6. 13. Caudales generados por los tres métodos para la estación Las Cruces época lluviosa.	52
Tabla 6. 14. Factores geométricos para la estación Las Lechuzas.....	55
Tabla 6. 15. Calculo del valor n y Caudales con la ecuación de Manning, estación Las Lechuzas.	57
Tabla 6. 16. Calculo del valor n y Caudales con la ecuación de Manning para época seca, estación Las Lechuzas.	58
Tabla 6. 17. Calculo del valor n y Caudales con la ecuación de Manning para época lluviosa, estación Las Lechuzas.....	58
Tabla 6. 18. Caudales generados a partir del método area – velocidad estación Las Lechuzas.....	62
Tabla 6. 19. Caudales generados a partir del método área – velocidad estación Las Lechuzas época seca.....	64
Tabla 6. 20. Caudales generados a partir del método área – velocidad estación Las Lechuzas época lluviosa.	64
Tabla 6. 21. Caudales generados a partir de la ecuación de la curva de descarga estación Las Lechuzas.....	66

Tabla 6. 22. Caudales generados a partir de la ecuación de la curva de descarga estación Las Lechuzas época seca	68
Tabla 6. 23. Caudales generados a partir de la ecuación de la curva de descarga estación Las Lechuzas época lluviosa.....	68
Tabla 6. 24. Caudales generados por los tres métodos para la estación Las Lechuzas.	70
Tabla 6. 25. Caudales generados por los tres métodos para la estación Las Lechuzas época seca.	72
Tabla 6. 26. Caudales generados por los tres métodos para la estación Las Lechuzas época lluviosa.....	72

INDICE DE FIGURAS

Figura 1 Factores a considerar en la obtención del coeficiente n	6
Figura 2. Coeficientes de Manning (fuente Hidráulica de canales de Ven Te Chow)	9
Figura 3. Coeficientes de Manning (fuente Hidráulica de canales de Ven Te Chow)	10
Figura 4. Valores del coeficiente n de rugosidad de Manning. Fuente www.fao.org	10
Figura 5. Ilustraciones de canales y coeficientes n. (fuente hidráulica de canales de Ven Te Chow).....	11
Figura 6. Nomograma para resolver la fórmula de Manning. Fuente www.fao.org ..	13
Figura 7. Grafico de extrapolación con la fórmula de Manning.....	15
Figura 8. Grafico de extrapolación con el método de Área – Velocidad Media.....	16
Figura 9. Determinación del constante h_o a partir del perfil longitudinal.....	18
Figura 10. Cuenca Rio Ostua-Guija	19
Figura 11. Ubicación de las estaciones Las Lechuzas y Las Cruces.....	26
Figura 12. Grafico método Manning para estación Las Cruces.	36
Figura 13. Grafico método Manning para estación Las Cruces en época seca.....	40
Figura 14. Grafico método Manning para estación Las Cruces en época lluviosa. .	40
Figura 15. Grafico método área – velocidad para la estación Las Cruces.....	41
Figura 16. Grafico método área – velocidad para la estación Las Cruces época seca.	43

Figura 17. Grafico método área – velocidad para la estación Las Cruces época lluviosa	43
Figura 18. Curva de Descarga Estación Las Cruces.....	47
Figura 19. Curva de Descarga Estación Las Cruces época seca.	49
Figura 20. Curva de Descarga Estación Las Cruces época lluviosa.....	49
Figura 21. Grafico de comparación entre los caudales generados y los caudales de aforo.....	51
Figura 22. Grafico de comparación entre los caudales generados y los caudales de aforo época seca estación Las Cruces.	53
Figura 23. Grafico de comparación entre los caudales generados y los caudales de aforo época lluviosa, estación Las Cruces.	54
Figura 24. Grafico método Manning para estación Las Lechuzas.	56
Figura 25. Grafico método Manning para estación Las Lechuzas en época seca. ..	59
Figura 26. Grafico método Manning para estación Las Lechuzas en época lluviosa.	60
Figura 27. Grafico método área – velocidad para la estación Las Lechuzas	61
Figura 28. Grafico método área – velocidad para la estación Las Lechuzas época seca.....	63
Figura 29. Grafico método área – velocidad para la estación Las Lechuzas época lluviosa	63
Figura 30. Curva de Descarga Estación Las Lechuzas.....	67
Figura 31. Curva de Descarga Estación Las Lechuzas época seca.	69
Figura 32. Curva de Descarga Estación Las Lechuzas época lluviosa.....	69

Figura 33. Grafico de comparación entre los caudales generados y los caudales de aforo estación Las Lechuzas.	71
Figura 34. Grafico de comparación entre los caudales generados y los caudales de aforo época seca estación Las Lechuzas.	73
Figura 35. Grafico de comparación entre los caudales generados y los caudales de aforo época lluviosa estación Las Lechuzas.....	74
Figura 36 Tabla de datos obtenidos del estudio exploratorio de la sensibilidad del coeficiente de rugosidad, argentina.	97
Figura 37 Grafico de cotas de nivel vrs coeficiente de rugosidad con $s = 0.00003$.	98
Figura 38 Grafico de cotas de nivel vrs coeficiente de rugosidad con $s = 0.00007$.	98
Figura 39. Sección de análisis río Salado, Argentina (fuente: http://www1.unne.edu.ar/cyt/2003/comunicaciones/07-Tecnologicas/T-046.pdf)	99
Figura 40. Grafico de la tendencia general de los niveles vrs coeficiente de rugosidad para la estación Las Cruces.....	100
Figura 41. Grafico de la tendencia general de los niveles vrs coeficiente de rugosidad para la estación Las Cruces, época seca.....	101
Figura 42. Grafico de la tendencia general de los niveles vrs coeficiente de rugosidad para la estación Las Cruces, época lluviosa.	101
Figura 43. Grafico de la tendencia general de los niveles vrs coeficiente de rugosidad para la estación Las Lechuzas.....	102
Figura 44. Grafico de la tendencia general de los niveles vrs coeficiente de rugosidad para la estación Las Lechuzas, época seca.....	103
Figura 45. Grafico de la tendencia general de los niveles vrs coeficiente de rugosidad para la estación Las Lechuzas, época lluviosa.	103

ABREVIATURAS Y SIGLAS

INSIVUMEH: Instituto Nacional de Sismología, Vulcanismo, Meteorología e Hidrología.

U.S: Unite State (Estados Unidos)

msnm: Metros sobre el nivel de mar.

INE: Instituto Nacional de Estadística

vrs: Versus

UNIDADES DE MEDIDA

Km²: Kilometros cuadrados

mm: milímetros

m: metro

s: Segundo

m³: Metros cúbicos.

°C: Grados Centígrados

NOMENCLATURA

V: Velocidad Media

C: Factor de resistencia de Flujo

S: Pendiente Media

- n: Coeficiente de rugosidad Manning
- A: Área Hidráulica
- R: Radio Hidráulico
- Q: Caudal de Descarga
- h: Nivel de agua leído en escala (m)
- ho: Diferencia de Nivel entre el punto de mayor profundidad del cauce y el cero de la escala (m)

GLOSARIO

Pendiente Hidráulica: Es la pendiente media considerada en una sección del río en la que contenga el punto de interés.

Radio Hidráulico: Es la relación entre el área Hidráulica y el perímetro mojado de la sección.

Área Hidráulica: Área de la sección transversal ocupada por el líquido

Perímetro Mojado: Es el perímetro de la sección transversal en el que hay contacto del líquido con la pared.

Flujo Uniforme: Si las características en un punto permanecen constantes para cualquier instante o si las variaciones son muy pequeñas con respecto a sus valores medios y estos no varían con el tiempo

Valles Aluviales: o Llanura de inundación son áreas próximas al cauce principal del río que resultan ocasionalmente inundadas.

Aforo: Medir la cantidad de agua que lleva una corriente en una unidad de tiempo

Estaciones Hidrométricas: Estación para la medición de parámetros Hidráulicos de un río en una sección determinada.

Meandros: curva en el cauce de un río por un proceso de intensa excavación en la orilla cóncava y de acumulación de materiales en la orilla convexa.

Erosión: Erosión en un cauce es el descenso del fondo (o el retroceso de las orillas) como consecuencia de fenómenos de dinámica fluvial naturales o suscitados por obras del hombre

Sedimentación: Proceso mediante el cual se deposita el material suelto en el fondo del río

Recarga Hídrica:

Orografía: Parte de la geografía física, que trata de la descripción de las montañas.

“EVALUACIÓN DE LA FÓRMULA DE MANNING EN EL RIO OSTUA”

1. INTRODUCCIÓN

El estudio de los recursos hidráulicos es de mucha importancia para el desarrollo de una región o país, tomando en los últimos años un mayor auge por el aumento de la población, por lo que la estimación de la cantidad del recurso hídrico es vital para el desarrollo.

La obtención de la cantidad de agua disponible o caudal, se puede obtener por varios métodos, entre los cuales uno de los más conocidos es la ecuación de Manning, la cual se basa en parámetros geométricos del canal que se va a estudiar, la pendiente hidráulica y el coeficiente de rugosidad “n”, siendo los primeros parámetros fáciles de conocer ya que se miden directamente en el sitio, pero el último parámetro, no se puede obtener de forma directa y a pesar que existen tablas o metodologías para su obtención, en el presente estudio se pretende obtener analíticamente los coeficientes de rugosidad “n” para el sitio y una vez obtenidos, realizar una comparación con los propuestos para la ecuación de Manning y así evaluar la utilización de estos para la obtención de caudales.

1.1. 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. El artículo fue publicado más adelante en Transactions, del Instituto de Irlanda. La ecuación en principio fue dada en una forma complicada y luego simplificada a $V = C \cdot R^{2/3} \cdot S^{1/2}$, donde V es la velocidad media, C el factor de resistencia al flujo, R el radio hidráulico y S la pendiente. Esta fue modificada posteriormente por otros y expresada en unidades métricas como $V = (1/n) \cdot R^{2/3} \cdot S^{1/2}$

(siendo n el coeficiente de rugosidad Manning). Más tarde, fue convertida otra vez en unidades inglesas, resultando en $V = (1.486/n) * R^{2/3} * S^{1/2}$.

La ecuación de Manning es el resultado del proceso de un ajuste de curvas y debido a su simplicidad de forma y a los resultados satisfactorios que arroja para aplicaciones prácticas, la fórmula Manning se ha hecho la más usada de todas las fórmulas de flujo uniforme para cálculos de escurrimiento en canal abierto.

La fórmula Manning fue sugerida para uso internacional por Lindquist en el Scandinavia Sectional Meeting del World Power Conference en 1933, en Stockolmo.

1.2.JUSTIFICACIÓN

La ecuación de Manning es el resultado de un proceso de ajuste de curvas de caudales y desarrollada para flujo uniforme en canales abiertos, con el transcurso del tiempo se ha utilizado para corrientes en flujo natural, pero a pesar que se utiliza en distintas regiones, los valores del coeficiente de rugosidad n se desarrollaron en una región específica, por lo que se debe de desarrollar una evaluación de los valores de coeficientes de rugosidad para la región centroamericana.

Por lo anterior el estudio se enfoca en la obtención analítica de valores de n , debido a que los otros parámetros involucrados en la ecuación de Manning (Radio hidráulico R , pendiente hidráulica S y área A) son datos que se pueden medir directamente del sitio de estudio, siendo el valor de n la variable indirecta a encontrar la cual generalmente se determina por valores dados en tablas.

1.3. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

Enunciado del problema

Los lechos de los ríos pasan sobre diferentes materiales a lo largo del curso de los mismos, principalmente en las áreas con relieve montañoso, observándose tramos con rocas de diferente granulometría, textura y dureza que contribuyen a la presencia de diferentes rugosidades influidos también por las pendientes de los lechos principalmente en aquellas zonas continuas a los valles aluviales; además los ríos en su recorrido descendente, atraviesan diferentes especies vegetales que normalmente son localizadas en las riveras de los ríos e incluso en aquellos ríos que pasan por pequeños valles pueden tener en su lecho la presencia de plantas acuáticas. Estas situaciones contribuyen a generar resistencia al libre paso de los flujos de los ríos a través de su cauce, por lo anterior se plantea el siguiente problema:

¿Qué valores de coeficientes de rugosidad n pueden ser utilizados en la ecuación de Manning para el cálculo de caudales en corrientes naturales de la región Centroamérica?

Delimitación o alcance del problema

El alcance en la evaluación del problema consistirá en la realización de la evaluación de aforos realizados en flujos de corriente natural, aprovechando la coyuntura de la realización de aforos por parte del equipo técnico del INSIVUMEH en el río Ostúa, en las respectivas estaciones hidrométricas de Las Lechuzas y Las Cruces.

1.4. HIPOTESIS

El desarrollo de los coeficientes de rugosidad de la ecuación de Manning se obtuvo a partir de características de lechos de corriente natural en la región de los Estados Unidos, por lo que el desarrollo del estudio de estos coeficientes en lechos de corriente natural locales permitiría generalizar los cálculos de caudales.

1.5. OBJETIVOS

1.5.1. Objetivo General

Evaluar la ecuación de Manning para la determinación de caudales en corrientes de flujo de corriente natural en la región, a partir de datos de aforos de caudales en algunas corrientes de flujo natural y los resultados obtenidos con la fórmula de Manning.

1.5.2. Objetivos Específicos

Obtener el valor característico del coeficiente de rugosidad n a partir de los aforos históricos realizados en las secciones de las estaciones Las Cruces y Las Lechuzas del río Ostúa.

Comparar los caudales obtenidos por medio de los aforos realizados en las secciones de las estaciones Las Cruces y Las Lechuzas del río Ostúa y comparar los resultados con los obtenidos por medio de la ecuación de Manning utilizando el valor del coeficiente de rugosidad obtenida.

Realizar las curvas de descargas por medio de los métodos de la fórmula de Manning, el método de Área- Velocidad y de la ecuación característica de descarga de las estaciones para comparar los resultados obtenidos.

2. MARCO CONCEPTUAL

Al aplicar la ecuación de Manning la mayor dificultad está en la determinación del coeficiente de rugosidad n , ya que no existe un método exacto para la selección de su valor. Por lo que a continuación se presentan algunas metodologías para la selección de los valores del coeficiente de rugosidad entre las cuales están el conocimiento de algunos factores que afectan el coeficiente de rugosidad, la obtención de los valores por medio de tablas, la selección del coeficiente por medio de ilustraciones típicas de canales y la obtención por medio del análisis de los datos obtenidos a partir de la realización de aforos en el sitio.

En la Figura 1 se muestra una propuesta de los factores a considerar para la obtención del valor del coeficiente de rugosidad “ n ” cuando se realiza una visita de campo al sitio de interés.

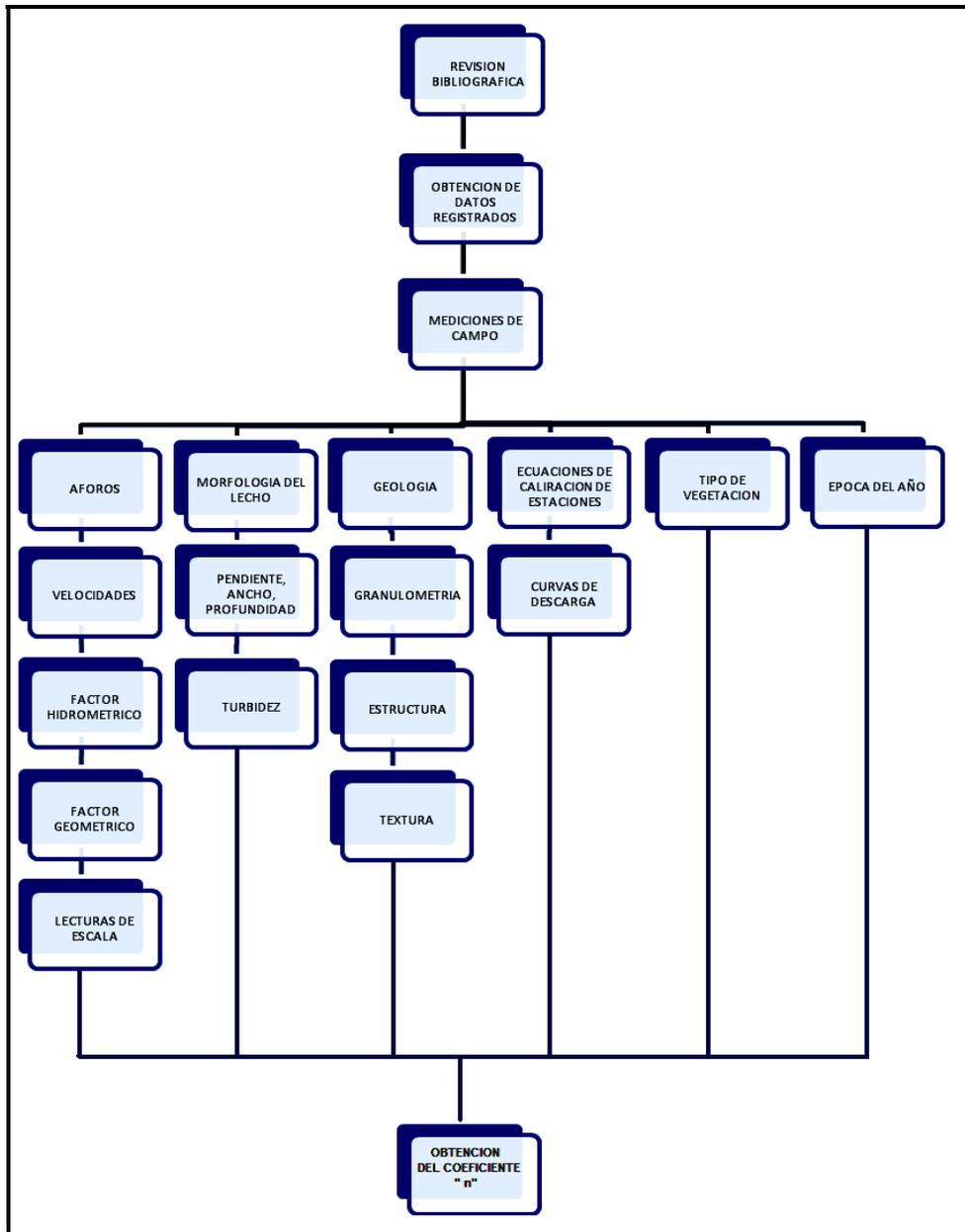


Figura 1 Factores a considerar en la obtención del coeficiente n

2.1. Factores que afectan el coeficiente de rugosidad de Manning.

El valor de n es muy variable y depende de una cantidad de factores. Al seleccionar un valor adecuado de n para diferentes condiciones de diseño, un conocimiento básico de estos factores debe ser considerado de gran utilidad.

1) Rugosidad de la superficie

Se representa por el tamaño y la forma de los granos del material que forma el perímetro mojado y que producen un efecto retardante sobre el flujo. En general, los granos finos resultan en un valor relativamente bajo de n y los granos gruesos dan lugar a un valor alto de n .

2) Vegetación

Puede ser vista como una clase de rugosidad superficial. Este efecto depende principalmente de la altura, densidad, distribución y tipo de vegetación, y es muy importante en el diseño de canales pequeños de drenaje, ya que por lo común éstos no reciben mantenimiento regular.

3) Irregularidad del canal

Se refiere a las variaciones en las secciones transversales de los canales, su forma y su perímetro mojado a lo largo de su eje longitudinal. En canales naturales, tales irregularidades por lo general son producidas por la presencia de barras de arena, ondas de arena, cresta y depresiones y fosos y montículos en el lecho del canal. En general, un cambio gradual y uniforme en la sección transversal o en su tamaño y forma no produce efectos apreciables en el valor de n , pero cambios abruptos o alteraciones de secciones pequeñas y grandes requieren el uso de un valor grande de n .

4) Alineamiento del canal

Curvas suaves con radios grandes producirán valores de n relativamente bajos, en tanto que curvas bruscas con meandros severos incrementarán el n .

5) Sedimentación y erosión

En general la sedimentación y erosión activa, dan variaciones al canal que ocasionan una disminución o incremento en el valor de n . Urquhart (1975)

señaló que es importante considerar si estos dos procesos están activos y si es probable que permanezcan activos en el futuro.

6) Obstrucción

La presencia de obstrucciones tales como troncos de árbol, desechos de flujos, atascamientos, pueden tener un impacto significativo sobre el valor de n . El grado de los efectos de tales obstrucciones dependen del número y tamaño de ellas.

7) Tamaño y forma del canal

No existe evidencia definitiva acerca del tamaño y la forma del canal como factores importantes que afecten el valor del coeficiente de rugosidad n . un incremento en el radio hidráulico puede aumentar o disminuir el n , según la condición del canal.

8) Nivel y caudal

En la mayor parte de las corrientes el valor de n disminuye con el aumento en el nivel y en el caudal. Cuando el agua es poco profunda, las irregularidades del fondo del canal quedan expuestas y sus efectos se vuelven pronunciados. Sin embargo, el valor de n puede ser grande en niveles altos si las bancas están cubiertas por pastos o son rugosas.

9) Cambio estacional.

Debido al crecimiento estacional de planta acuáticas, hierbas, malezas, sauces y arboles en el canal o en la banca, el valor de n puede aumentar en la estación de crecimiento y disminuir en la estación inactiva; además esta factor puede producir cambios en otros factores.

10) Material en suspensión y carga de lecho.

El material en suspensión y la carga de lecho, ya sea en movimiento o no, consumirá energía y causa una pérdida de altura e incrementa la rugosidad aparente del canal.

2.2. Métodos visuales para la determinación del coeficiente de rugosidad “n”

2.2.1. Tablas de coeficiente de rugosidad de Manning.

Debido a la importancia de la selección del valor del coeficiente de rugosidad y la complejidad de su determinación, se han desarrollado tablas con valores típicos de n. En las Figura 2 y 3 se presentan las tablas con los distintos valores de n para distintos tipos de corrientes naturales.

Tipo de canal y descripción	Mínimo	Normal	Máximo
C. Excavado o dragado			
<i>a. En tierra, recto y uniforme</i>			
1. Limpio, recientemente terminado	0.016	0.018	0.020
2. Limpio, después de exposición a la intemperie	0.018	0.022	0.025
3. Con gravas, sección uniforme, limpio	0.022	0.025	0.030
4. Con pastos cortos, algunas malezas	0.022	0.027	0.033
<i>b. En tierra, serpenteante y lento</i>			
1. Sin vegetación	0.023	0.025	0.030
2. Pastos, algunas malezas	0.025	0.030	0.033
3. Malezas densas o plantas acuáticas en canales profundos	0.030	0.035	0.040
4. Fondo en tierra con lados en piedra	0.028	0.030	0.035
5. Fondo pedregoso y bancas con malezas	0.025	0.035	0.040
6. Fondo en cantos rodados y lados limpios	0.030	0.040	0.050
<i>c. Excavado con pala o dragado</i>			
1. Sin vegetación	0.025	0.028	0.033
2. Matorrales ligeros en las bancas	0.035	0.050	0.060
<i>d. Cortes en roca</i>			
1. Lisos y uniformes	0.025	0.035	0.040
2. Afilados e irregulares	0.035	0.040	0.050
<i>e. Canales sin mantenimiento, malezas y matorrales sin cortar</i>			
1. Malezas densas, tan altas como la profundidad de flujo	0.050	0.080	0.120
2. Fondo limpio, matorrales en los lados	0.040	0.050	0.080
3. Igual, nivel máximo de flujo	0.045	0.070	0.110
4. Matorrales densos, nivel alto	0.080	0.100	0.140
D. Corrientes naturales			
D-1. Corrientes menores (ancho superficial en nivel creciente < 100 pies)			
<i>a. Corrientes en planicies</i>			
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. Limpio, 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 y 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	0.100	0.150

Figura 2. Coeficientes de Manning (fuente Hidráulica de canales de Ven Te Chow)

Tipo de canal y descripción	Mínimo	Normal	Máximo
b. Corrientes montañosas, sin vegetación en el canal, bancas usualmente empinadas, árboles y matorrales a lo largo de las bancas sumergidas en niveles altos			
1. Fondo: gravas, cantos rodados y algunas rocas	0.030	0.040	0.050
2. Fondo: cantos rodados con rocas grandes	0.040	0.050	0.070
D-2. Planicies de inundación			
a. Pastizales, sin matorrales			
1. Pasto corto	0.025	0.030	0.035
2. Pasto alto	0.030	0.035	0.050
b. Áreas cultivadas			
1. Sin cultivo	0.020	0.030	0.040
2. Cultivos en línea maduros	0.025	0.035	0.045
3. Campos de cultivo maduros	0.030	0.040	0.050
c. Matorrales			
1. Matorrales dispersos, mucha maleza	0.035	0.050	0.070
2. Pocos matorrales y árboles, en invierno	0.035	0.050	0.060
3. Pocos matorrales y árboles, en verano	0.040	0.060	0.080
4. Matorrales medios a densos, en invierno	0.045	0.070	0.110
5. Matorrales medios a densos, en verano	0.070	0.100	0.160
d. Árboles			
1. Sauces densos, rectos y en verano	0.110	0.150	0.200
2. Terreno limpio, con troncos sin retoños	0.030	0.040	0.050
3. Igual que el anterior, pero con una gran cantidad de retoños	0.050	0.060	0.080
4. Gran cantidad de árboles, algunos troncos caídos, con poco crecimiento de matorrales, nivel del agua por debajo de las ramas	0.080	0.100	0.120
5. Igual al anterior, pero con nivel de creciente por encima de las ramas	0.100	0.120	0.160
D-3. Corrientes mayores (ancho superficial en nivel de creciente > 100 pies). El valor de n es menor que el correspondiente a corrientes menores con descripción similar, debido a que las bancas ofrecen resistencia menos efectiva.			
a. Sección regular, sin cantos rodados ni matorrales	0.025	0.060
b. Sección irregular y rugosa	0.035	0.100

Figura 3. Coeficientes de Manning (fuente Hidráulica de canales de Ven Te Chow)

En la Figura 4 se presenta otra propuesta de valores de n que es la publicada por el U.S Department of Agriculture en 1955

a) Canales sin vegetación	
Sección transversal uniforme, alineación regular sin guijarros ni vegetación, en suelos sedimentarios finos	0,016
Sección transversal uniforme, alineación regular, sin guijarros ni vegetación, con suelos de arcilla duros u horizontes endurecidos	0,018
Sección transversal uniforme, alineación regular, con pocos guijarros, escasa vegetación, en tierra franca arcillosa	0,020
Pequeñas variaciones en la sección transversal, alineación bastante regular, pocas piedras, hierba fina en las orillas, en suelos arenosos y arcillosos, y también en canales recién limpiados y rastreados	0,0225
Alineación irregular, con ondulaciones en el fondo, en suelo de grava o esquistos arcillosos, con orillas 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	
Gramíneas cortas (50-150 mm)	0,030-0,060
Gramíneas medias (150-250 mm)	0,030-0,085
Gramíneas largas (250-600 mm)	0,040-0,150
(c) Canales de corriente natural	
Limpios y rectos	0,025-0,030
Sinuosos, con embalses y bajos	0,033-0,040
Con muchas hierbas altas, sinuosos	0,075-0,150

Figura 4. Valores del coeficiente n de rugosidad de Manning. Fuente www.fao.org

2.2.2. Ilustraciones de canales con diferentes rugosidades

En la Figura 5 se muestran fotografías para un cierto número de canales comunes, acompañadas por una breve descripción de las condiciones del canal y de los valores de n correspondientes. En el anexo 1 se encuentran todas las ilustraciones de los canales con sus n propuestos.

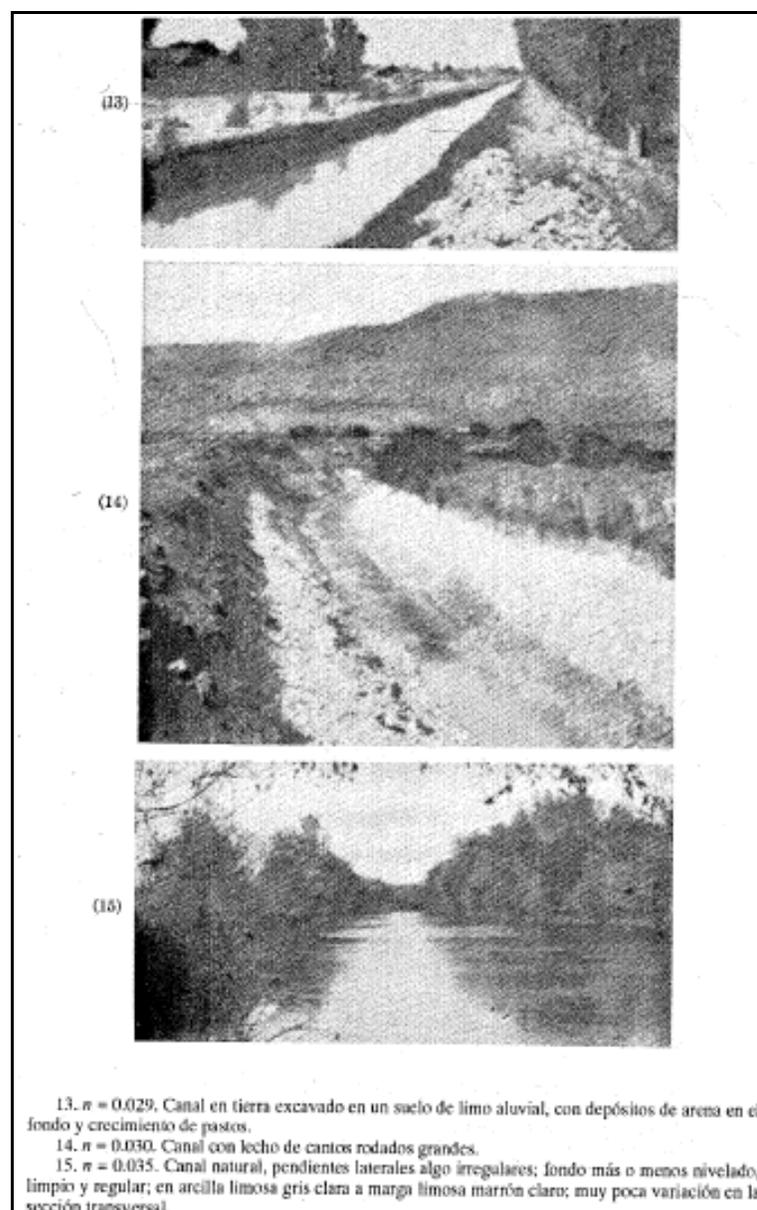


Figura 5. Ilustraciones de canales y coeficientes n . (fuente hidráulica de canales de Ven Te Chow)

2.3. Métodos analíticos

Para la determinación del coeficiente de rugosidad de Manning, se puede realizar de manera analítica, por medio de conocer todos los parámetros que se involucran en la ecuación de Manning, los cuales son, el caudal Q, el Área A, la Velocidad Media V_m , el Radio Hidráulico R_h , y la pendiente media S. Una vez conocidos todos estos factores por medio de aforos realizados en el punto de interés se despeja la ecuación de Manning para obtener el valor de n,

$$n = (A \cdot R^{2/3}) \cdot (S^{1/2}) / Q \quad (2.1)$$

Para poderse obtener un valor confiable del valor de rugosidad se debe conocer la relación que los demás factores tienen entre sí, para lo cual se han desarrollado métodos de análisis con este fin, entre estos métodos se encuentran la de los Nomogramas de resolución de la fórmula de Manning, además se puede hacer uso de los métodos de desarrollo de las curvas de descargas de las estaciones de aforo. A continuación se presentan algunos de estos métodos, en las siguientes secciones se describirá la metodología utilizada para encontrar el valor de rugosidad n, a partir de los métodos de desarrollo de curvas de descarga.

2.3.1. Nomograma para resolución de fórmula de Manning.

El Nomograma es un método desarrollado a partir de datos experimentales, en el cual es necesario conocer tres factores involucrados para poder conocer gráficamente el cuarto factor, en este caso sería necesario conocer los valores de radio hidráulica, la velocidad y la pendiente, para así conocer el valor “n”, como se presenta en la Figura 6.

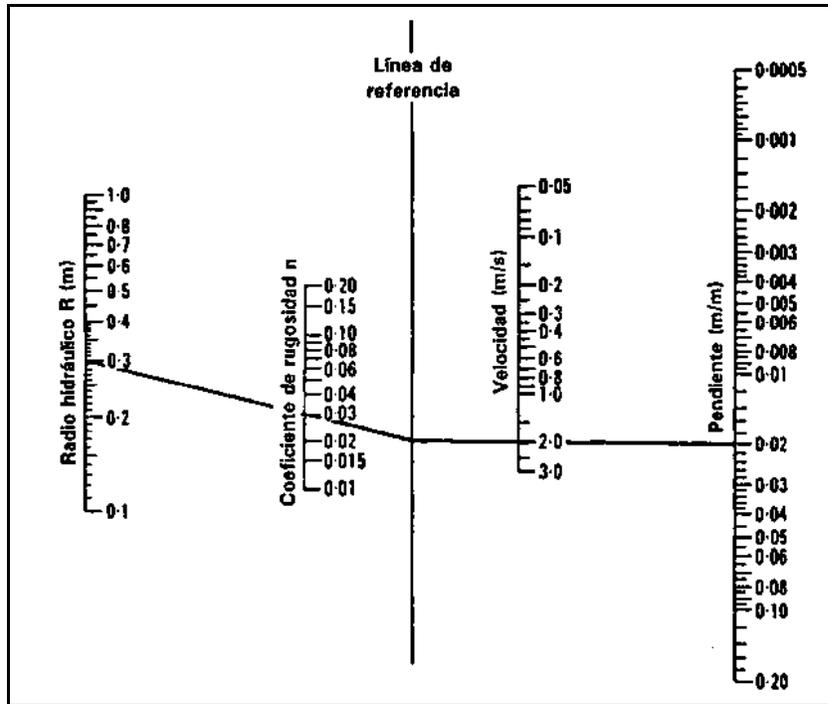


Figura 6. Nomograma para resolver la fórmula de Manning. Fuente www.fao.org

2.3.2. Métodos de elaboración de curvas de descarga

2.3.2.1. Aplicación de la fórmula de Manning.

Aunque la fórmula de Manning esta deducida para canales y en condiciones de flujo uniforme, la experiencia de los últimos años indica que es un valioso instrumento para analizar las características hidráulicas y geométricas de los aforos realizados. Además cuando se tiene una creciente, la pendiente del eje hidráulico toma un valor promedio pasando por alto las pequeñas variaciones en pendiente del lecho. Es por esto que las fórmulas para canales abiertos pueden aplicarse a cauces naturales con mayor seguridad a los estados altos que a los bajos, pues estos últimos quedan notoriamente influenciados por las condiciones del lecho.

El caudal Q queda dado por la expresión:

$$Q = (A \cdot R^{2/3}) \cdot (S^{1/2} / n) \quad (2.2)$$

Donde:

A: Área de la sección de control o de aforo (m^2)

S: Pendiente del canal

R: Radio hidráulico, $R = A/P$

n: Coeficiente de rugosidad

Q: Caudal o descarga en (m^3/s)

El término $A \cdot R^{2/3}$ llamado también **Factor Geométrico** depende esencialmente de las condiciones geométricas de la sección. De los aforos realizados en la estación se puede determinar sus factores geométricos, los mismos que pueden ser representados mediante una curva $H = f(A \cdot R^{2/3})$, donde las lecturas de escala se ubican en las ordenadas y el factor geométrico en las abscisas como se muestra en la Figura 7.

El término $S^{1/2}/n$ denominado **Factor Hidráulico** depende de la rugosidad del lecho y de la pendiente del eje hidráulico. Este término tiende algunas veces a ser constante (asintótico) para niveles altos. Por tanto los valores del factor hidráulico pueden obtenerse para cada uno de los aforos realizados y ser graficados en una curva $H = f(S^{1/2}/n)$, donde las lecturas de escala se ubican en las ordenadas y el factor hidráulico en las abscisas. Este análisis puede ser representado en forma grafica como se observa en la Figura 7.

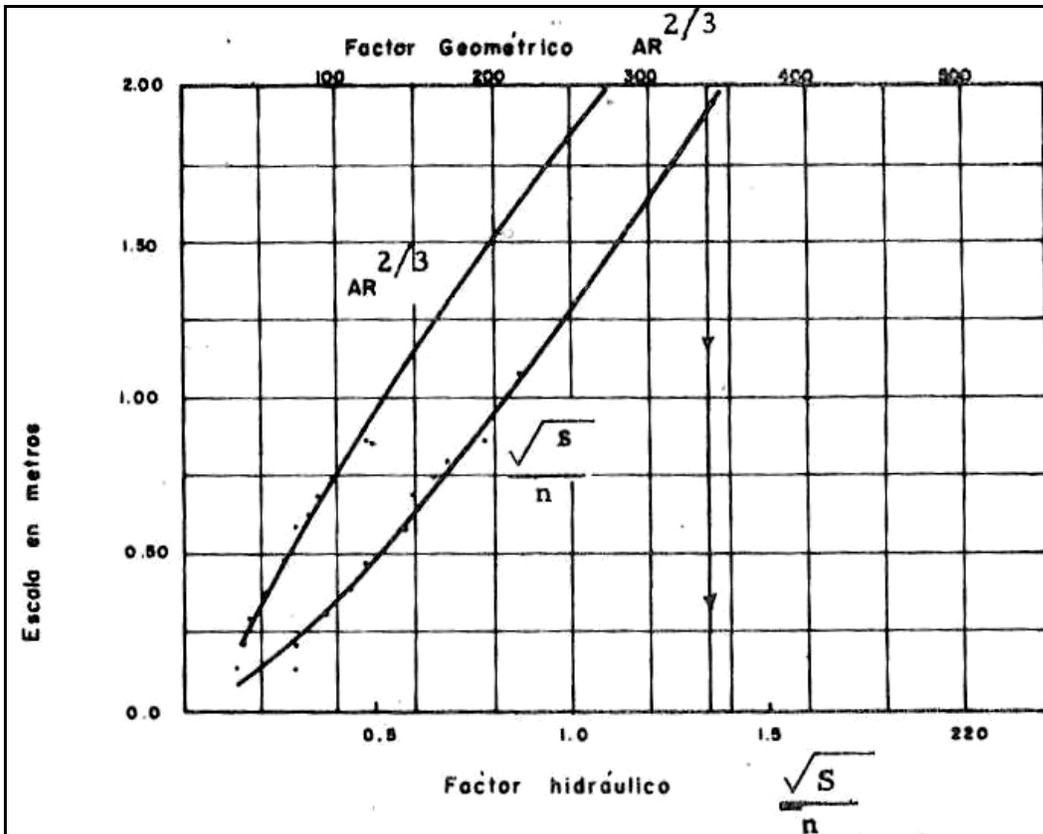


Figura 7. Grafico de extrapolación con la fórmula de Manning

Con la extrapolación de estas curvas se pueden determinar también los caudales para aquellas alturas de agua en que no se han obtenido aforos.

2.3.2.2. Aplicación del método Área – Velocidad Media.

Para desarrollar el método de Área – Velocidad Media se parte a partir de que el caudal queda dado en general por la expresión:

$$Q = A * V_m \quad (2.3)$$

En donde A es determinada por el perfil de la sección y limitada por una altura de agua determinada y V_m es la velocidad media correspondiente a esa misma altura.

Teniendo el perfil de la sección transversal es fácil determinar la curva de variación de las áreas con respecto a la altura de agua. En el caso de contar con los aforos se puede generar la curva de Altura vrs. Área, así como la curva Altura vrs. Velocidad media del aforo así como la que se muestra en la Figura 8. Una vez obtenidas estas curvas se obtiene los valores de Área y V_m correspondiente a una altura determinada y al aplicar la ecuación 2.3 se obtiene el valor de caudal correspondiente.

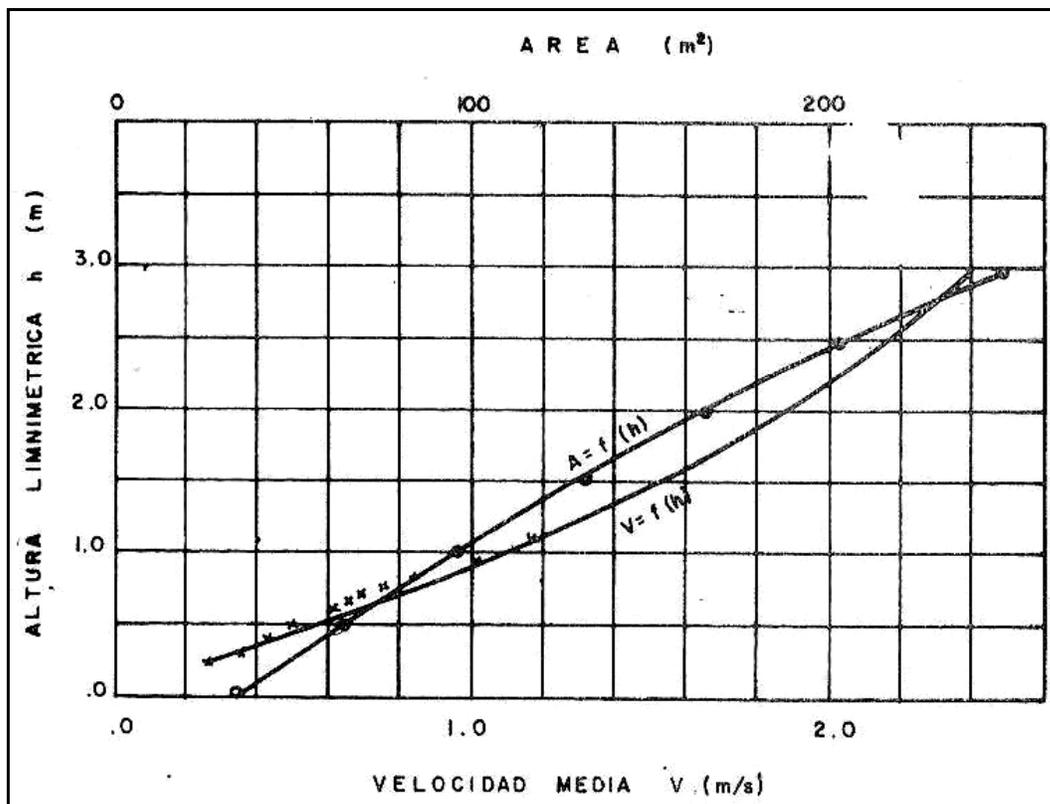


Figura 8. Grafico de extrapolación con el método de Área - Velocidad Media

2.3.2.3. Curva analítica de primer tipo

Como resultado de muchas investigaciones sobre curvas de descarga, se han llegado a deducir que estas pueden quedar representadas por la ecuación de la parábola de orden superior, dada por la forma:

$$Q = k*(h-h_0)^n. \quad (2.4)$$

Donde:

Q: Caudal o descarga en (m³/s)

h: Nivel de agua leído en escala (m)

h₀: Diferencia de nivel entre el punto de mayor profundidad del cauce y el cero de la escala (m)

R: Radio hidráulico, $R = A/P$

k, n: Constantes a determinar

Al aplicar logaritmos a la ecuación dada se tiene:

$$\text{Log } Q = \text{Log } k + n*\text{Log } (h-h_0) \quad (2.5)$$

Esta segunda ecuación se asemeja a una ecuación de tipo lineal en un sistema de coordenadas, donde los ejes de coordenadas son Log (h-h₀) y Log Q.

Como ya se ha mencionado, el valor de h₀ es la diferencia de nivel entre el punto de mayor profundidad del cauce y el cero de la escala, pudiendo ser positivo o negativo según sea el caso (ver Figura 9.). Cuando el lecho del río está por debajo del 0 de la escala, será negativo y cuando lecho del río está por encima del 0 será positivo.

Por lo anterior se deduce la importancia de la existencia de una sección de control estable.

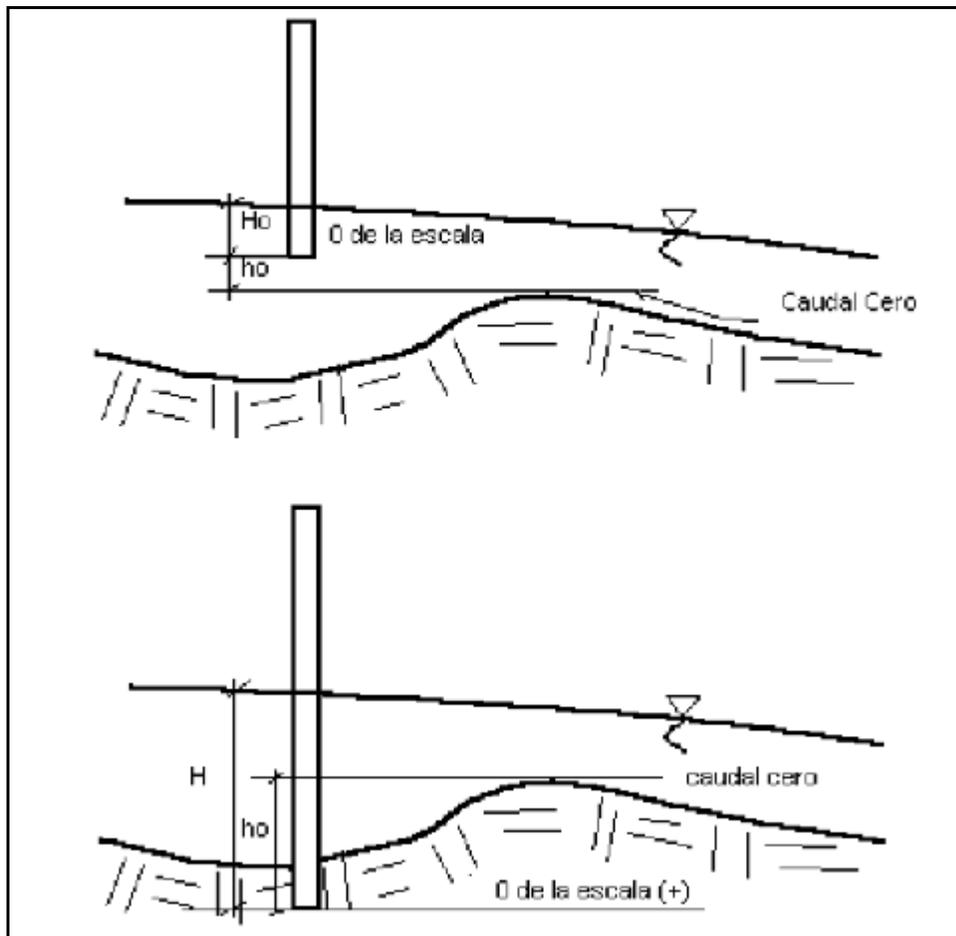


Figura 9. Determinación del constante h_o a partir del perfil longitudinal

3. CARACTERISTICAS GENERALES

3.1. ZONA DE ESTUDIO

Para el presente estudio se desarrolla en el área de la cuenca del Rio Ostua-Guija (ver Figura 10), el río Ostúa nace en Jalapa y desemboca en el lago de Guija, drena un área total de 2231 Km², su elevación máxima es de 1600 msnm y una mínima de 43, la precipitación media anual entre 1500-200 mm y un déficit de humedad de 6 meses

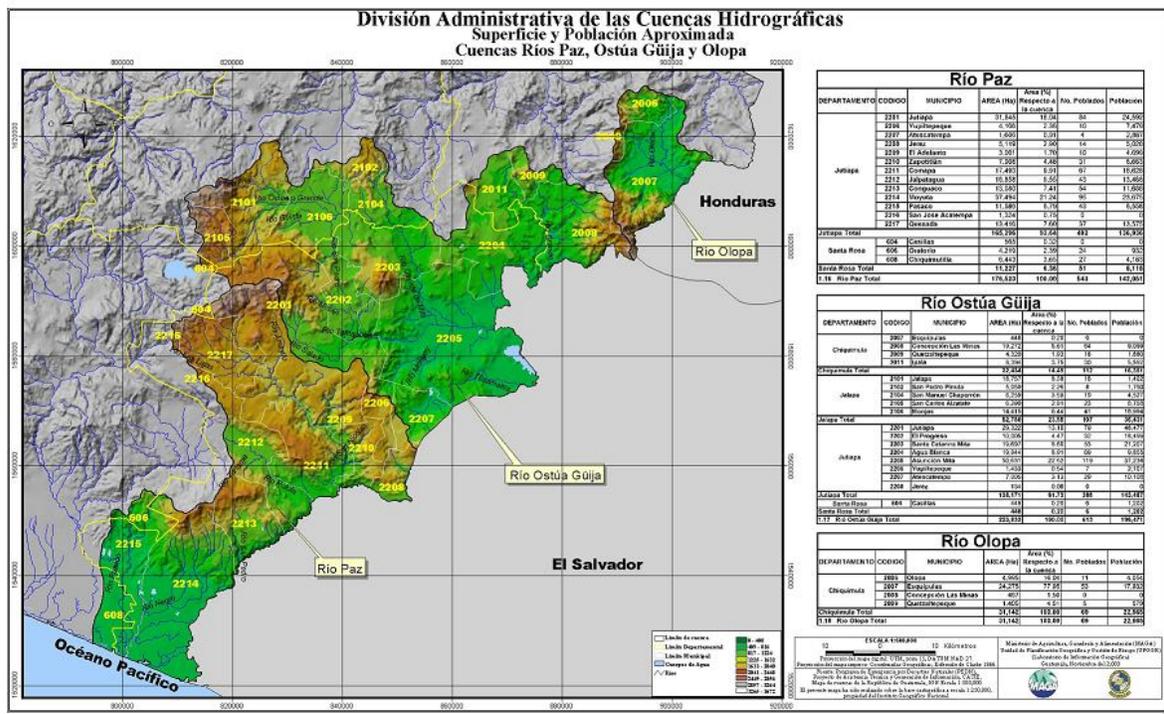


Figura 10. Cuenca Río Ostua-Guija

La cuenca cuenta con una recarga hídrica potencial anual de 120,000 m³/km², teniendo un consumo de agua potable de 9.68 m³/dia/km², la cuenca presenta una susceptibilidad a la erosión en un 85% y posee en su totalidad 279 km² de área de inundaciones periódicas.(fuente: proyecto de investigación en recursos hídricos, universidad de San Carlos)

3.2. División política

La cuenca total del río Ostua- Guija abarca 4 municipios en su división política siendo los principales departamentos que conforman la cuenca los de Chiquimula, Jutiapa y Jalapa

Entre algunas características de la zona se tienen

Departamento de Chiquimula

Población total del Municipio	Población	Estructura Poblacional	Total %	Hombres %	Mujeres %
(2000)	62,894	100	30,483	48.47	32,411

Entre los datos del uso de suelo se tiene para el municipio de Chiquimula

TIPO DE FINCA	No. DE FINCA	% SUPERFICIE	(ha) %
Micro-finca	2,859	17.7	2,960 4.0
Sub-Familiar	10,201	69.8	19,887.80
Familiar	1,565	10.7	24,418.00
Multi-familiar mediana	260	1.8	25,759.45
Multi-familiar grandes	1 0.0 1	105.31	1.5

En el departamento de Chiquimula se diferencian cinco de las catorce zonas de vida reportadas para Guatemala.

Según la clasificación de zonas de vida Chiquimula cuenta con cinco de ellas cada una de las cuales se caracteriza por su vegetación natural indicadora.

Monte espinoso Sub-Tropical:

La vegetación natural está constituida mayormente por arbustos espinosos. Las especies características son el cacto, nopal, tuna (*Cactus* sp.), Espino Blanco, Subín (*Acacia farnesiana*), Limoncillo (*Jaquima* sp), Upay (*Cordia alba*), pitaya de árbol (*Parekia* sp), Guayacán (*Gualacum* sp), roble (*Bucida macrostachys*).

Bosque Seco Subtropical.

Este se encuentra principalmente en Quezaltepeque, la vegetación característica son pachote, pumpo (*Cochlospermum vitifolium*), conacaste blanco (*Abizzia mexicana*), botán, palma (*Sabal mexicana*), Guacamayo (*Phylocarpus septentrionalis*) ceibillo (*Ceiba aesculifolia*), cola de ardía (*Alvarados amorfoides*).

BOSQUE HÚMEDO SUBTROPICAL TEMPLADO:

Esta es la zona más extensa en Chiquimula y se encuentra principalmente en el municipio de Concepción Las Minas, se caracteriza por la presencia de roble, encino (*Quercus* sp), pino colorado (*Pinus oocarpa*), nance (*Byrsonimia crassifolia*), lengua de vaca, hoja de lija (*Curatella americana*).

Bosque muy Húmedo Subtropical Frío:

Se reporta principalmente en el Cerro Montecristo, Concepción Las Minas, Esquipulas en las fronteras con el Salvador y Honduras, dentro de la vegetación más común están aguacatillo (*Persea schiedeana*), pimientillo (*Rapanea ferruginea*), zapotillo (*Clethra* sp) ayayán (*Myrica* sp), sangre de dragón (*Croton draco*) fruto de paloma (*Eurya seemanii*), liquidambar (*Liquidambar styraciflua*).

Bosque muy Húmedo Montaña Bajo:

Se encuentra en una pequeña área del Cerro Montecristo, Esquipulas, es común encontrar, cacac (*Chiranthodentrum pentadactylon*), pino blanco, curtidor (*Pinus ayacahuite*), pino de las cumbres (*Pinus hartwegii*), pino triste (*Pinus pseudostrubus*), ciprés común (*Cupressus lucitánica*).

Departamento de Jalapa

Población: 293926 habitantes, según proyecciones 2008 del INE.

Altitud: 1361.91 metros sobre el nivel del mar.

Extensión territorial: 2062 kilómetros cuadrados

Clima: Cálido en los valles y templado en las partes elevadas.

Temperatura: Oscila a lo largo del año entre 18 y 28 °C

Distancia de la ciudad capital a Jalapa: 101 kilómetros por carretera asfaltada.

Jalapa está atravesado por la cordillera volcánica. Por ello el 87% de su territorio presenta características de origen volcánico. Por las características climáticas, de humedad y asociación de especies de flora y fauna, se han identificado cinco zonas de vida en este departamento. Estas son:

Bosque seco Subtropical

Bosque húmedo subtropical templado

Bosque muy húmedo subtropical cálido

Bosque Húmedo bajo subtropical

Bosque muy húmedo montano bajo subtropical

El territorio es irrigado por los ríos El Colorado, Guastatoya, Ostúa y los Plátanos, entre otros de menor importancia. También hay en el territorio dos lagunas, la de Los Achiotes y la Del Hoyo. Las dos atractivos turísticos de la región.

Dentro del territorio Jalapaneco se encuentran localizados cuatro volcanes, el Jumay, Alzatate, Tual y Tobón; cuyas alturas no sobrepasan los 2176 metros.

El clima templado y cálido del departamento lo hacen propicio para la agricultura, pero el mismo también crea limitantes permanentes que solo permiten una producción mediana.

Departamento de Jutiapa

Ubicación geográfica y extensión territorial

Jutiapa cuenta con una extensión territorial de 3,219 kilómetros cuadrados. Limita al Norte con los departamentos de Jalapa y Chiquimula; al Sur con el departamento de Santa Rosa y el Océano Pacífico; al Este con la República de El Salvador; y al Oeste con el departamento de Santa Rosa. La topografía del departamento es variada, la cual trae también consigo la diversidad de climas, que generalmente va desde cálido hasta templado. Jutiapa se divide en 17 municipios incluyendo su cabecera departamental. Colinda al norte con los departamentos Jalapa y Chiquimula, al este con la República de El Salvador, al sur con el Océano Pacífico y Santa Rosa y al oeste con Santa Rosa.

Hidrografía

Cuenta con cuatro cuencas, siendo éstas las de los ríos siguientes: Ostúa, Atescatempa, de Paz y Cusmapa, clasificándose a nivel nacional estas cuatro cuencas dentro de la cuenca de los ríos Ostúa-Guija y cuenca del Río Paz. La cuenca del río Ostúa, tiene un área aproximadamente de 1,525 Km de superficie, nace en la parte sur-oeste del departamento de Jalapa y desemboca en el lago de Guija ubicado en el límite con la República de El Salvador. Después de entrar en el departamento de Jutiapa hasta la confluencia con el río Tamazulapa, se denomina río Ostúa o Grande Mita.

La cuenca del río Atescatempa nace en el Cerro Alto que tiene una altura de 1,100 msnm, al sur-oeste del municipio de Yupiltepeque, desemboca en la laguna de Atescatempa, aunque la cuenca tiene una superficie pequeña, sus recursos hídricos son aprovechados para el riego.

La cuenca del río Paz, que es el más grande y de mayor longitud en el departamento, nace en la parte noroeste y se transforma en el río internacional que constituye el límite con El Salvador y desemboca en el Océano Pacífico. La

superficie de la cuenca es de aproximadamente 1,722 Kms² y ocupa casi la mitad del departamento.

Al igual que el río Ostúa, desde su nacimiento, afluyen en el río Paz numerosos arroyos y quebradas y descienden formando profundos cauces en la zona montañosa.

La cuenca del río Cusmapa al igual que el río Paz afluye en el lago de Guija y es un río que marca el límite con el Salvador, la cuenca tiene una superficie reducida y en la época seca casi no tiene caudal.

Orografía

La cadena orográfica del sur de Guatemala, la cordillera volcánica, que se extiende a todo lo ancho, forma un monumental espinazo de conos. Es un verdadero eje de fuego.

Pero es en Jutiapa en donde la preeminencia de la condición volcánica se manifiesta con excepcional vigor y agradable diversidad. Ahí, los conos volcánicos no sólo se encuentran por montones; están, también, asociados a multitud de lagunas y lagunetas.

Los orígenes de esta superficie deben buscarse en tiempos remotos, entre 3 y 8 millones de años, durante los períodos que los geólogos llaman Mioceno y Plioceno, de la época Terciaria, y otra parte en tiempos más recientes, de menos de dos millones de años, durante la época Cuaternaria. El potente vulcanismo de las edades Terciarias se distingue, ahora, por la intensa erosión del terreno.

En la tabla 3.1 se presenta el porcentaje del área de la cuenca del Río Ostua – Guija respecto a cada uno de los municipios que la conforma, junto con la densidad poblacional que la compone.

Departamento	Municipio	Area (ha)	Area (%) respecto a la cuenca	No de Poblados	Poblacion
Chiquimula	Esquipulas	448	0.20	0	0
	Concepcion Las Minas	19,272	8.61	64	9,099
	Quetzaltepeque	4,320	1.93	18	1,660
	Ipala	8,394	3.75	30	5,592
Chiquimula Total		32,434	14.49	112	16,351
Jalapa	Jalapa	18,757	8.38	16	1,402
	San Pedro Pinula	5,059	2.26	8	1,750
	San Manuel Chaparron	8,259	3.69	19	4,527
	San Carlos Alzatate	6,290	2.81	23	8,758
	Monjas	14,415	6.44	41	18,994
Jalapa Total		52,780	23.58	107	35,431
Jutiapa	Jutiapa	29,322	13.10	79	46,477
	El Progreso	10,005	4.47	32	16,499
	Santa Catarina Mita	19,697	8.80	53	21,207
	Agua Blanca	19,944	8.91	69	9,855
	Asuncion Mita	50,631	22.62	119	37,234
	Yupiltepeque	1,433	0.64	7	2,107
	Atescatempa	7,005	3.13	29	10,108
	Jerez	134	0.06	0	0
Jutiapa Total		138,171	61.73	388	143,487
Santa Rosa	Casillas	448	0.20	6	1,202
Santa Rosa Total		448	0.20	6	1,202
Rio Ostua-Guija Total		223,833	100.00	613	196,471

Tabla 3. 1. División política Cuenca Rio Ostua-Guija

Ubicación de las Estaciones Hidrométricas Las Cruces y Las Lechuzas

En la Figura 11 se muestra la ubicación de las estaciones de análisis para el estudio, siendo estas la estación Las Cruces y la estación Las Lechuzas.

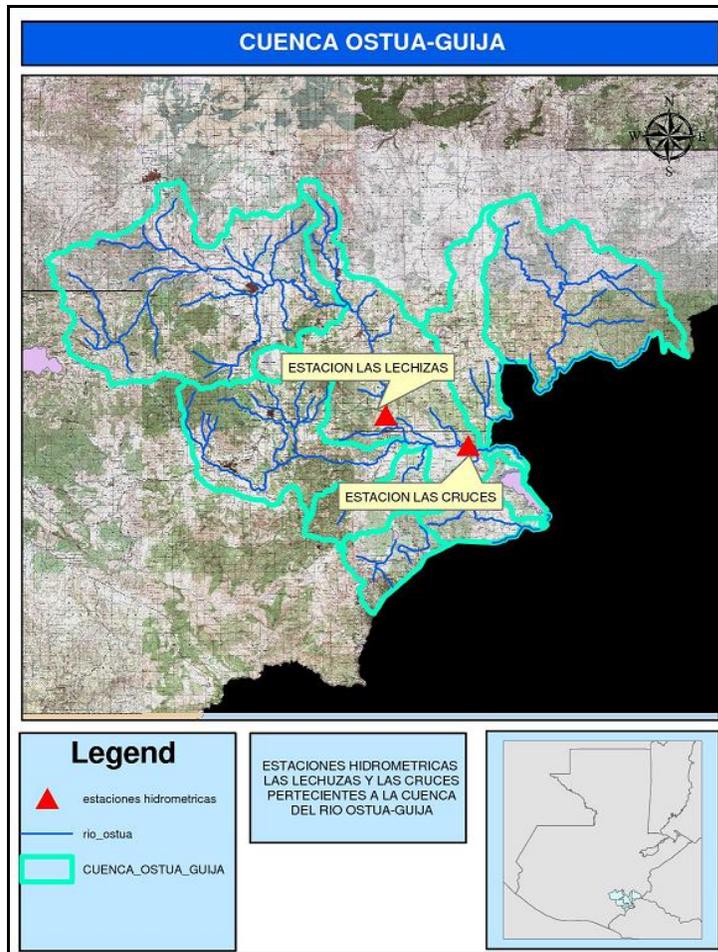


Figura 11. Ubicación de las estaciones Las Lechuzas y Las Cruces.

En el siguiente cuadro se encuentra los datos de ubicación de las estaciones junto con el área de la cuenca que corresponde hasta el punto de ubicación de cada estación.

nombre de la estacion	vertiente	cuenca	nombre de rio	depto	municipio	elev msn m	area km2	lat	lon	Caudal medio m3/s	organización
Las Lechuzas	Pacifico	Ostua-Guija	Ostua	Jutiapa	Asuncion Mita	470	873.75	14 21 15	89 42 45	12.27	INSIVUMEH en operación automática digital
Las Cruces	Pacifico	Ostua-Guija	Ostua	Jutiapa	Asuncion Mita	420	1474.38	14 19 06	89 36 57	2.07	INSIVUMEH en operación automática digital

Entre algunas características importantes de la estaciones están para la estación Las Cruces se presenta una lecho con material de arena limosa con cantos rodados de diámetro fino, presentando en los márgenes del rio vegetación poco densa; en el caso de la estación Las Lechuzas se presenta un lecho de tipo rocoso de canto rodado de diámetro alto, donde por la corriente permite el arrastre de rocas grandes en épocas de crecidas, modificando la sección cuando se presenta este tipo de eventos, además en el margen del rio se encuentra presencia de bancos de sedimentos de arrastre del rio, además se observa en uno de los márgenes roca fracturada ya que es un sitio que presenta fallas geológicas en su estructura.

Otro aspecto a considerar es que la estación Las Lechuzas, la cual se encuentra aguas arriba de la estación Las Cruces, presenta mayores caudales, esto debido a que en todo el recorrido que realiza el rio de la estación las Lechuzas hacia Las Cruces, se encuentra un distrito de riego conformada por varias fincas del lugar, los cuales se abastecen de agua del rio disminuyendo así el caudal presentado en la estación Las Cruces.

4. METODOLOGIA A SEGUIR

Para la realización del estudio se parte de la recopilación de información hidrológica necesaria para el desarrollo de los métodos seleccionados para análisis, por lo que una vez se definió que las estaciones hidrométricas que se iban a analizar eran parte de la red instalada sobre el Rio Ostua y seleccionándose las estaciones Las Cruces y Las Lechuzas por poseer características distintas de lechos, se procedió a la obtención de los datos históricos disponibles.

Con los datos de los aforos proporcionados, se disponía de los siguientes parámetros: Niveles de escalas, ho según el nivel de escala, áreas de secciones, radios hidráulicos, perímetros mojados, velocidades medias, caudales y anchos del rio.

A partir de los parámetros anteriores se procede a realizar los métodos mencionados en el marco conceptual antes descrito, estos métodos se aplicara de la siguiente forma.

En primer lugar se desarrollara la aplicación de la fórmula de Manning para curvas de descarga, con la variación que no se graficaran los valores de los factores hidráulicos, con el objetivo de obtener los valores de “n” a partir de los caudales Q y el factor geométrico encontrado para cada aforo realizado, con estos valores de n, se procede a obtener un valor promedio de “n” para la estación de estudio, por medio de asumir una pendiente constante $S = 0.00106$ y despejando el valor de n de la ecuación Manning $n = (A \cdot R^{2/3}) \cdot (S^{1/2}) / Q$

Una vez que se obtienen el valor de “n” característico se calcula el valor de caudal Q con este valor, para así poder comparar estos valores con los valores de Q reales obtenidos por medio de los aforos.

Como parte de los análisis se desarrolla el método de Área – Velocidad ya que este método involucra parámetros medidos en campo y por lo tanto se obtienen los valores de Q más confiables. En este caso se obtendrán las ecuaciones de la línea de tendencia de estos parámetros respecto al nivel, para que con este factor en

común entre los tres métodos se realice una comparación de los caudales obtenidos por medio del método de Manning, el cual también involucra el parámetro del nivel vrs el factor geométrico.

Debido a que al realizarse la obtención de caudales en las estaciones hidrométricas se utiliza las ecuaciones características de descarga del tipo $Q = k \cdot (h - h_0)^z$, se graficara los valores obtenidos de caudales por medio de esta fórmula, utilizando los factores proporcionados por el INSIVUMEH de las curvas características de las estaciones de estudio

Para finalizar se realiza la comparación de los caudales calculados por los tres métodos junto con los caudales reales de aforo para poder así concluir sobre el valor “n” obtenido y las ventajas o desventajas sobre la utilización de estos métodos, y a partir de esto concluir si este valor de “n” se puede considerar como característico para la zona en estudio y para el tipo de lecho de la sección.

Además se realiza un análisis de los aforos realizados en época seca y lluviosa para observar el comportamiento de estos en estas épocas, para lo cual se realiza el mismo procedimiento descrito anteriormente, para tal fin se tomaron los aforos realizados entre los meses de mayo a octubre de cada año para la época de lluvia y de octubre a mayo para la época seca, se han tomado en común los meses de mayo y octubre debido a que estos meses son los de transición entre una época y otra.

Como parte complementaria a los objetivos del estudio en el Anexo 3 se presenta un análisis del comportamiento de los niveles de los datos de aforo vrs. los coeficientes de rugosidad obtenidos, con el fin de conocer el comportamiento de estos, además se anexa en este mismo, parte de los datos obtenidos por un estudio realizado en la Universidad Nacional Del Nordeste, Argentina, en el 2003 sobre un estudio exploratorio de la sensibilidad del coeficiente de rugosidad.

5. DATOS DE ESTUDIO

La base de este estudio es el manejo de los datos proporcionados a partir de los aforos realizados en los sitios de interés, por lo que se recurrió al departamento de hidrología del INSIVUMEH, en donde se obtuvieron los datos de los aforos que se han realizado en las estaciones hidrométricas Las Cruces y Las Lechuzas, ambas estaciones sobre el río Ostua. En el anexo 1 se encuentran las tablas proporcionadas por el INSIVUMEH, a continuación se presentan en las tablas 5.1 y 5.2 los datos y los parámetros necesarios para el análisis a realizar con los distintos métodos a desarrollar.

5.1. Datos de estudio Estación Las Cruces

Fecha de Aforo	Nivel Escala (m)	Area (A, m ²)	Radio Hidraulico (H)	Ho	Profundidad Total	Velocidad Media Vm	Caudal (m ³ /s)	Factor Hidraulico ($\sqrt{s/n}$)	Factor Geometrico ($A \cdot R^{2/3}$)
07-03-02	0.570	4.225	0.262	0.170	0.400	0.321	1.355	0.783	1.729
07-03-02	0.570	4.125	0.256	0.180	0.390	0.333	1.372	0.825	1.662
04-07-02	0.850	7.845	0.379	0.150	0.700	0.469	3.680	0.895	4.110
12-09-02	1.610	22.226	0.887	0.440	1.170	0.779	17.322	0.844	20.516
11-10-02	0.975	18.783	0.768	-0.225	1.200	0.712	13.365	0.849	15.746
24-10-02	0.820	9.702	0.333	0.090	0.730	0.630	6.115	1.311	4.665
14-11-02	0.820	9.920	0.421	-0.010	0.830	0.635	6.301	1.131	5.573
18-02-03	0.450	3.919	0.362	-0.170	0.620	0.345	1.353	0.680	1.990
29-05-03	0.805	10.249	0.444	-0.195	1.000	0.507	5.194	0.870	5.967
21-08-03	1.020	18.816	0.776	-0.030	1.050	0.631	11.866	0.747	15.885
21-11-03	0.550	11.522	0.509	-0.350	0.900	0.378	4.351	0.592	7.348
06-03-04	0.360	6.158	0.320	-0.160	0.520	0.301	1.854	0.643	2.882
12-07-04	1.280	35.651	1.385	-0.740	2.020	0.750	26.746	0.604	44.289
07-09-04	0.775	25.252	1.007	-0.815	1.590	0.452	11.426	0.451	25.362
06-12-05	0.290	8.476	0.464	-0.660	0.950	0.546	4.630	0.911	5.082
21-08-06	0.870	34.275	1.207	-1.330	2.200	1.161	39.783	1.024	38.863
27-11-06	0.190	15.330	0.704	-1.410	1.600	0.746	11.429	0.942	12.134
19-06-07	0.590	23.041	0.914	-1.560	2.150	0.913	21.037	0.970	21.698
08-08-07	0.320	19.479	0.812	-1.560	1.880	0.754	14.684	0.866	16.956
05-06-08	0.155	11.161	0.494	-0.595	0.750	1.177	13.131	1.883	6.975

Tabla 5. 1. Datos de aforos para la estación hidrométrica Las Cruces del río Ostua.

A parte de los datos de aforo se trabaja con los datos de los parámetros proporcionados por el INSIVUMEH para el desarrollo de la ecuación de la curva de descarga de las estaciones antes mencionadas.

Factores de la ecuación para la elaboración de la curva de descarga Estación Las Cruces

k	ho	z
11.17	0.12	2.12

5.2. Datos de estudio Estación Las Lechuzas

Fecha de Aforo	Nivel Escala (m)	Area (A, m ²)	Radio Hidraulico (H)	Ho	Profundidad Total	Velocidad Media Vm	Caudal (m ³ /s)	Factor Hidraulico ($\sqrt{s/n}$)	Factor Geometrico ($A \cdot R^{(2/3)}$)
07-03-02	0.250	13.597	0.621	-0.750	1.000	0.093	1.269	0.128	9.893
07-03-02	0.660	15.020	0.678	-0.430	1.090	0.082	1.231	0.106	11.590
12-09-02	0.580	18.846	0.744	-0.680	1.260	0.375	7.071	0.457	15.478
11-10-02	0.640	22.575	0.667	-0.820	1.460	0.367	8.284	0.481	17.239
24-10-02	0.370	16.353	0.693	-0.830	1.200	0.147	2.403	0.188	12.803
19-02-03	0.250	10.109	0.563	-0.790	1.040	0.109	1.099	0.159	6.896
21-08-03	0.600	17.420	0.780	-0.660	1.260	0.382	6.661	0.451	14.761
21-11-03	0.330	12.271	0.621	-0.740	1.070	0.217	2.664	0.298	8.928
05-03-04	0.230	10.693	0.579	-0.730	0.960	0.135	1.447	0.195	7.424
12-07-04	0.775	25.344	0.711	-0.775	1.550	0.792	20.065	0.994	20.187
07-09-04	0.530	16.880	0.798	-0.790	1.320	0.389	6.561	0.452	14.521
22-03-05	0.220	9.787	0.560	-0.680	0.900	0.111	1.085	0.163	6.650
09-06-05	0.600	19.568	0.830	-0.780	1.380	0.417	8.169	0.473	17.280
03-08-05	0.390	15.343	0.735	-0.810	1.200	0.547	8.399	0.672	12.496
07-12-05	0.310	11.327	0.549	-0.720	1.030	0.181	2.052	0.270	7.594
27-02-06	0.230	9.932	0.518	-0.750	0.980	0.134	1.334	0.208	6.404
19-06-07	0.620	23.465	0.663	-0.730	1.350	0.412	9.664	0.542	17.846
07-08-07	0.625	20.512	0.571	-0.625	1.250	0.481	9.858	0.698	14.125
22-10-07	1.235	42.083	1.165	-0.865	2.100	0.982	41.343	0.888	46.581
23-10-07	0.210	9.316	0.557	-0.790	1.000	0.153	1.426	0.226	6.308

Tabla 5. 2. Datos de aforos para la estación hidrométrica Las Lechuzas del río Ostua.

A parte de los datos de aforo se trabaja con los datos de los parámetros proporcionados por el INSIVUMEH para el desarrollo de la ecuación de la curva de descarga de las estaciones antes mencionadas.

Factores de la ecuación para la elaboración de la curva de descarga Estación Las Lechuzas.

k	ho	z
30.18	0.002	2.05

6. ANALISIS DE DATOS

6.1. Análisis para la estación Las Cruces.

6.1.1. Aplicación de la fórmula de Manning.

Como se explica en la parte conceptual, este método utiliza para su desarrollo los factores geométricos como los factores hidráulicos, pero en nuestro desarrollo se obtendrá solo la curva del factor geométrico vrs nivel con el fin de que a partir de estos valores y con la pendiente media de la cuenca de $S = 0.00106$, obtener el valor de n para cada aforo.

En la Tabla 6.1 se presentan los valores de los factores geométricos $A^*R^{2/3}$

Fecha de Aforo	Nivel Escala (m)	Area (A, m ²)	Radio Hidraulico (H)	Ho	Profundidad Total	Velocidad Media Vm	Caudal (m ³ /s)	Factor Geometrico (A*R ^{2/3})
07-03-02	0.570	4.125	0.256	0.180	0.390	0.333	1.372	1.662
07-03-02	0.570	4.225	0.262	0.170	0.400	0.321	1.355	1.729
06-03-04	0.360	6.158	0.320	-0.160	0.520	0.301	1.854	2.882
18-02-03	0.450	3.919	0.362	-0.170	0.620	0.345	1.353	1.990
04-07-02	0.850	7.845	0.379	0.150	0.700	0.469	3.680	4.110
24-10-02	0.820	9.702	0.333	0.090	0.730	0.630	6.115	4.665
05-06-08	0.155	11.161	0.494	-0.595	0.750	1.177	13.131	6.975
14-11-02	0.820	9.920	0.421	-0.010	0.830	0.635	6.301	5.573
21-11-03	0.550	11.522	0.509	-0.350	0.900	0.378	4.351	7.348
06-12-05	0.290	8.476	0.464	-0.660	0.950	0.546	4.630	5.082
29-05-03	0.805	10.249	0.444	-0.195	1.000	0.507	5.194	5.967
21-08-03	1.020	18.816	0.776	-0.030	1.050	0.631	11.866	15.885
12-09-02	1.610	22.226	0.887	0.440	1.170	0.779	17.322	20.516
11-10-02	0.975	18.783	0.768	-0.225	1.200	0.712	13.365	15.746
07-09-04	0.775	25.252	1.007	-0.815	1.590	0.452	11.426	25.362
27-11-06	0.190	15.330	0.704	-1.410	1.600	0.746	11.429	12.134
08-08-07	0.320	19.479	0.812	-1.560	1.880	0.754	14.684	16.956
12-07-04	1.280	35.651	1.385	-0.740	2.020	0.750	26.746	44.289
19-06-07	0.590	23.041	0.914	-1.560	2.150	0.913	21.037	21.698
21-08-06	0.870	34.275	1.207	-1.330	2.200	1.161	39.783	38.863

Tabla 6. 1. Factores geométricos para la estación Las Cruces

Con los valores antes presentados se grafican los resultados obteniéndose la línea de mejor tendencia de los datos. (ver Figura 12.)

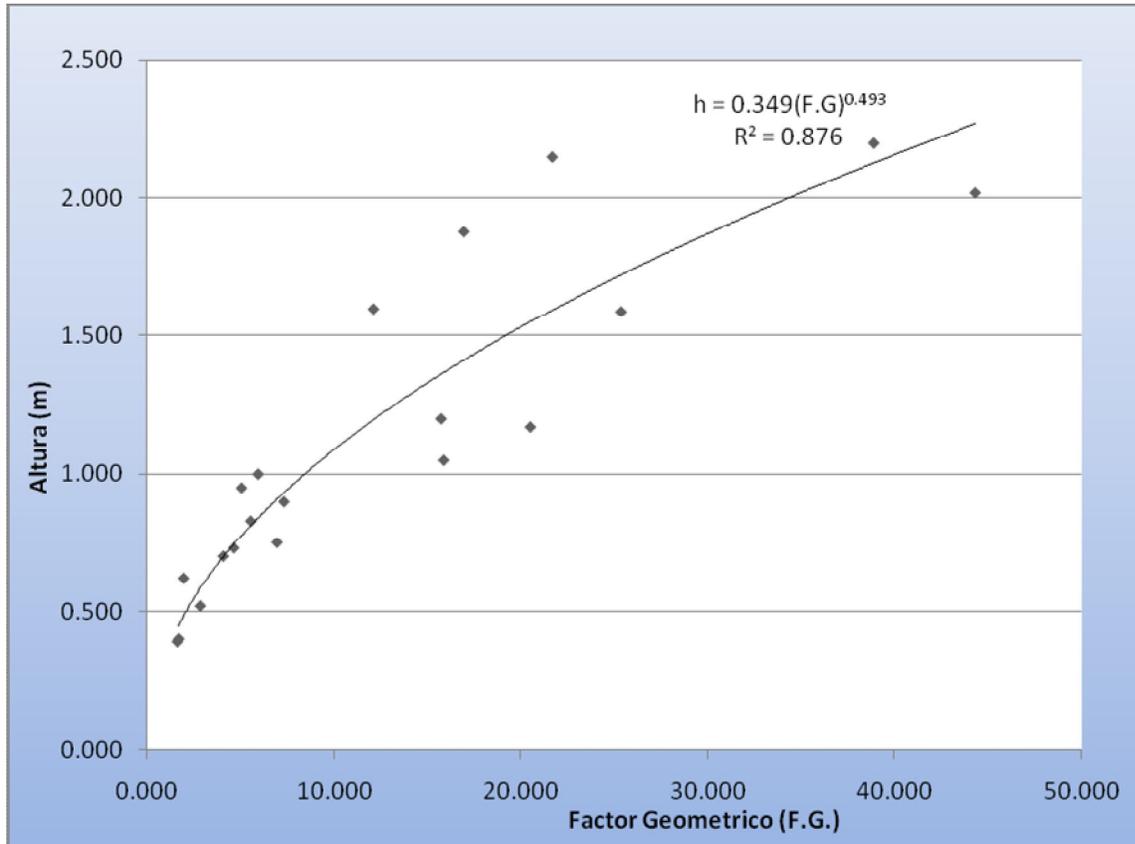


Figura 12. Grafico método Manning para estación Las Cruces.

Con los valores de los factores geométricos conocidos, con la ecuación de Manning $Q = (A \cdot R^{2/3}) \cdot (S^{1/2} / n)$ y el valor medio de pendiente $S = 0.00106$ se despeja el valor de n y se obtienen los valores que se presenta en la Tabla 6.2

A partir de estos datos se obtiene el promedio de los valores de n para realizar el cálculo de los valores de caudal por medio de la ecuación de Manning con el valor de n seleccionado.

Fecha de Aforo	Nivel Escala (m)	Area (A, m ²)	Radio Hidraulico (H)	Ho	Profundidad Total	Velocidad Media Vm	Caudal (m ³ /s)	Factor Geometrico (A*R ^{2/3})	n calculado	Q calculado con Manning (n = 0.040)
07-03-02	0.570	4.125	0.256	0.180	0.390	0.333	1.372	1.662	0.039	1.354
07-03-02	0.570	4.225	0.262	0.170	0.400	0.321	1.355	1.729	0.042	1.409
06-03-04	0.360	6.158	0.320	-0.160	0.520	0.301	1.854	2.882	0.051	2.348
18-02-03	0.450	3.919	0.362	-0.170	0.620	0.345	1.353	1.990	0.048	1.621
04-07-02	0.850	7.845	0.379	0.150	0.700	0.469	3.680	4.110	0.036	3.349
24-10-02	0.820	9.702	0.333	0.090	0.730	0.630	6.115	4.665	0.025	3.801
05-06-08	0.155	11.161	0.494	-0.595	0.750	1.177	13.131	6.975	0.017	5.683
14-11-02	0.820	9.920	0.421	-0.010	0.830	0.635	6.301	5.573	0.029	4.541
21-11-03	0.550	11.522	0.509	-0.350	0.900	0.378	4.351	7.348	0.055	5.987
06-12-05	0.290	8.476	0.464	-0.660	0.950	0.546	4.630	5.082	0.036	4.141
29-05-03	0.805	10.249	0.444	-0.195	1.000	0.507	5.194	5.967	0.037	4.862
21-08-03	1.020	18.816	0.776	-0.030	1.050	0.631	11.866	15.885	0.044	12.943
12-09-02	1.610	22.226	0.887	0.440	1.170	0.779	17.322	20.516	0.039	16.717
11-10-02	0.975	18.783	0.768	-0.225	1.200	0.712	13.365	15.746	0.038	12.830
07-09-04	0.775	25.252	1.007	-0.815	1.590	0.452	11.426	25.362	0.072	20.666
27-11-06	0.190	15.330	0.704	-1.410	1.600	0.746	11.429	12.134	0.035	9.887
08-08-07	0.320	19.479	0.812	-1.560	1.880	0.754	14.684	16.956	0.038	13.816
12-07-04	1.280	35.651	1.385	-0.740	2.020	0.750	26.746	44.289	0.054	36.088
19-06-07	0.590	23.041	0.914	-1.560	2.150	0.913	21.037	21.698	0.034	17.680
21-08-06	0.870	34.275	1.207	-1.330	2.200	1.161	39.783	38.863	0.032	31.667
Promedio									0.040	

Tabla 6. 2. Calculo del valor n y Caudales con la ecuación de Manning, estación Las Cruces.

De la tabla anterior se obtiene que el valor de coeficiente de rugosidad obtenidos con los datos de aforo del a estación es de 0.040

Debido a que en corrientes de flujo natural el comportamiento dinámico de los lechos varía según el flujo presente en estos y del tipo de lecho por lo que a continuación se realiza el análisis de los caudales para las épocas seca y de invierno para la estación, siguiendo el mismo procedimiento desarrollado anteriormente y así conocer las tendencias de comportamiento para ambos casos.

6.1.2. Aplicación de la fórmula de Manning para época seca y de invierno.

Se pretende realizar una comparación entre las épocas secas y de invierno en la estación, por tanto, se consideran las mismas características para ambos casos, tomando, como en el caso anterior, la pendiente medio de la cuenca de $S = 0.00106$ y así obtener los valores de n correspondientes.

A continuación se presentan las tablas y los gráficos con los datos seleccionados para ambas épocas.

Fecha de Aforo	Nivel Escala (m)	Area (A, m ²)	Radio Hidraulico (H)	Ho	Profundidad Total	Velocidad Media Vm	Caudal (m ³ /s)	Factor Geometrico (A*R ^{2/3})	n calculado	Q calculado con Manning (n = 0.039)
07-03-02	0.570	4.125	0.256	0.180	0.390	0.333	1.372	1.662	0.039	1.371
07-03-02	0.570	4.225	0.262	0.170	0.400	0.321	1.355	1.729	0.042	1.427
06-03-04	0.360	6.158	0.320	-0.160	0.520	0.301	1.854	2.882	0.051	2.377
18-02-03	0.450	3.919	0.362	-0.170	0.620	0.345	1.353	1.990	0.048	1.641
24-10-02	0.820	9.702	0.333	0.090	0.730	0.630	6.115	4.665	0.025	3.848
14-11-02	0.820	9.920	0.421	-0.010	0.830	0.635	6.301	5.573	0.029	4.597
21-11-03	0.550	11.522	0.509	-0.350	0.900	0.378	4.351	7.348	0.055	6.061
06-12-05	0.290	8.476	0.464	-0.660	0.950	0.546	4.630	5.082	0.036	4.192
29-05-03	0.805	10.249	0.444	-0.195	1.000	0.507	5.194	5.967	0.037	4.922
11-10-02	0.975	18.783	0.768	-0.225	1.200	0.712	13.365	15.746	0.038	12.989
27-11-06	0.190	15.330	0.704	-1.410	1.600	0.746	11.429	12.134	0.035	10.009
								Promedio	0.039	

Tabla 6. 3. Calculo del valor n y Caudales con la ecuación de Manning para época seca, Las Cruces.

Fecha de Aforo	Nivel Escala (m)	Area (A, m ²)	Radio Hidraulico (H)	Ho	Profundidad Total	Velocidad Media Vm	Caudal (m ³ /s)	Factor Geometrico (A*R ^{2/3})	n calculado	Q calculado con Manning (n = 0.039)	
04-07-02	0.850	7.845	0.379	0.150	0.700	0.469	3.680	4.110	0.036	3.449	
24-10-02	0.820	9.702	0.333	0.090	0.730	0.630	6.115	4.665	0.025	3.915	
05-06-08	0.155	11.161	0.494	-0.595	0.750	1.177	13.131	6.975	0.017	5.853	
29-05-03	0.805	10.249	0.444	-0.195	1.000	0.507	5.194	5.967	0.037	5.008	
21-08-03	1.020	18.816	0.776	-0.030	1.050	0.631	11.866	15.885	0.044	13.330	
12-09-02	1.610	22.226	0.887	0.440	1.170	0.779	17.322	20.516	0.039	17.217	
11-10-02	0.975	18.783	0.768	-0.225	1.200	0.712	13.365	15.746	0.038	13.214	
07-09-04	0.775	25.252	1.007	-0.815	1.590	0.452	11.426	25.362	0.072	21.284	
08-08-07	0.320	19.479	0.812	-1.560	1.880	0.754	14.684	16.956	0.038	14.229	
12-07-04	1.280	35.651	1.385	-0.740	2.020	0.750	26.746	44.289	0.054	37.167	
19-06-07	0.590	23.041	0.914	-1.560	2.150	0.913	21.037	21.698	0.034	18.208	
21-08-06	0.870	34.275	1.207	-1.330	2.200	1.161	39.783	38.863	0.032	32.613	
									Promedio	0.039	

Tabla 6. 4. Calculo del valor n y Caudales con la ecuación de Manning para época lluviosa, Las Cruces.

Se observa que para tanto la época seca como lluviosa se obtuvo el mismo valor del coeficiente de rugosidad de 0.039 por lo que, a pesar de la variabilidad que se observa en la tendencia de los datos se consideraría el mismo coeficiente de rugosidad para ambas épocas.

Con los valores antes presentados se grafican los resultados obteniéndose la línea de mejor tendencia de los datos respecto al factor geométrico de la sección.

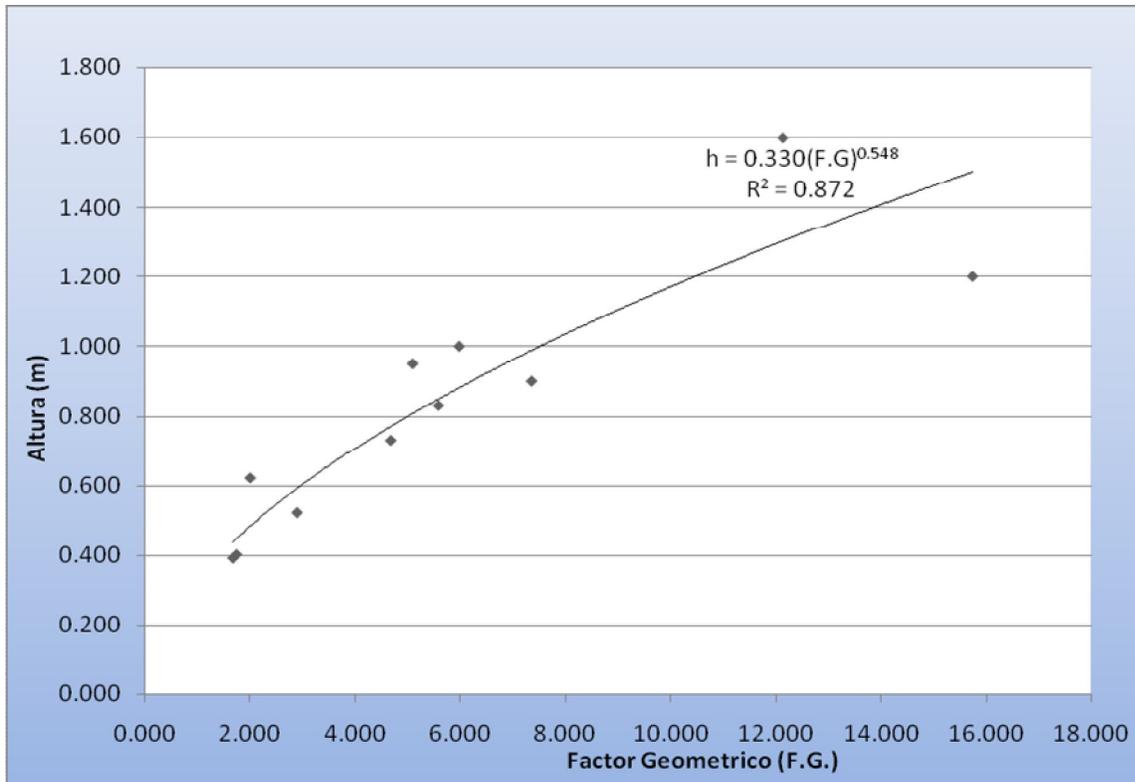


Figura 13. Grafico método Manning para estación Las Cruces en época seca.

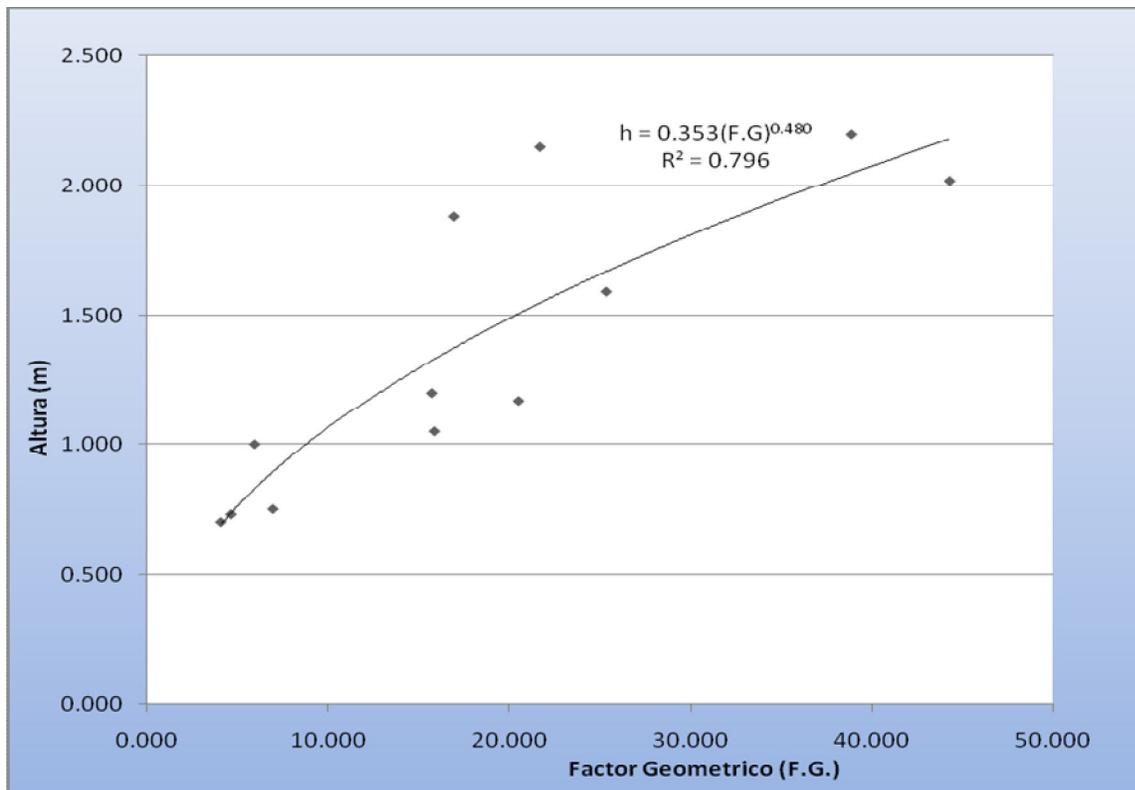


Figura 14. Grafico método Manning para estación Las Cruces en época lluviosa.

6.1.3. Aplicación del método Área – Velocidad Media.

Debido a que entre los datos que se obtienen al momento de realizar los aforos están el área de la sección de estudio y su velocidad media, se procede a graficar estos parámetros con respecto a la altura (Figura 15.) para así obtenerse una tendencia de estos valores, luego con la ecuación generada a partir de la línea de tendencia se reevalúa los valores de área y velocidad para las distintas alturas, con el fin de obtener un nuevo caudal Q (Tabla 6.5) para luego poder comparar con los obtenidos con el valor de n seleccionado en el inciso anterior.

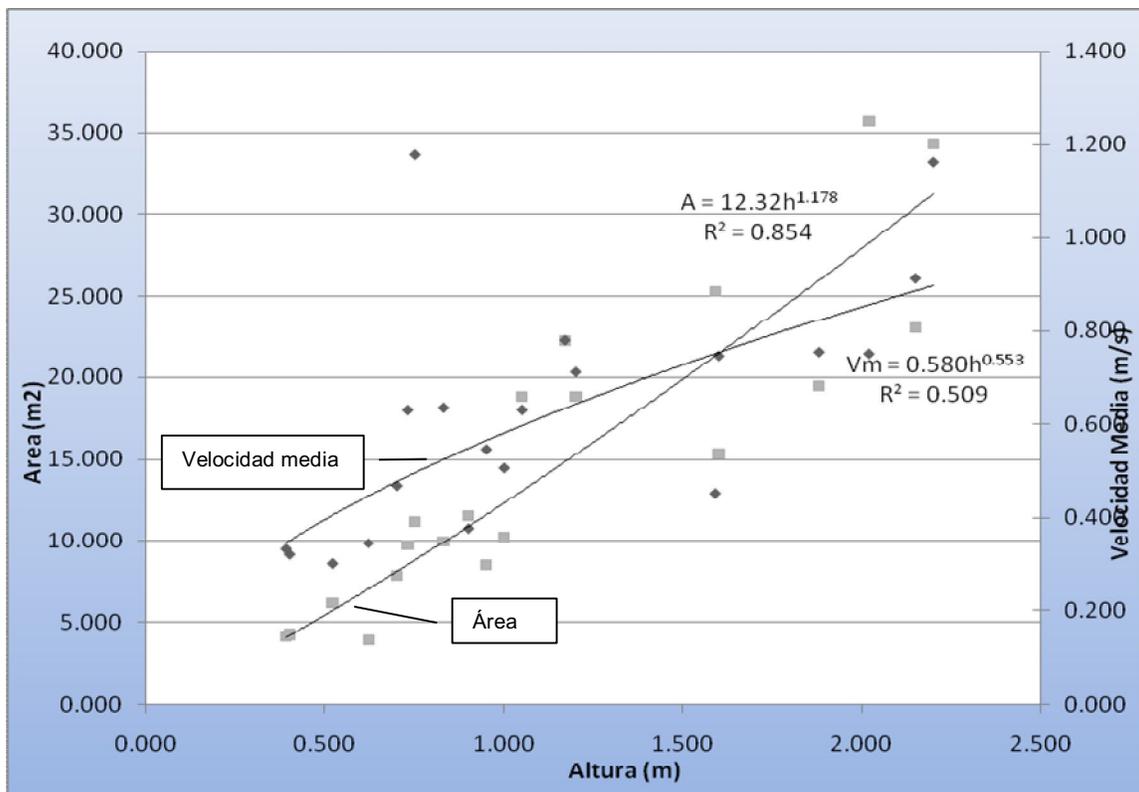


Figura 15. Grafico método área – velocidad para la estación Las Cruces

Fecha de Aforo	Nivel Escala (m)	Area (A, m ²)	Radio Hidraulico (H)	Ho	Profundidad Total	Velocidad Media Vm	Caudal (m ³ /s)	Area (12.32*h ^{1.178})	Velocidad (0.58*h ^{0.553})	Q calculado A x V
07-03-02	0.570	4.125	0.256	0.180	0.390	0.333	1.372	4.063	0.345	1.400
07-03-02	0.570	4.225	0.262	0.170	0.400	0.321	1.355	4.186	0.349	1.463
06-03-04	0.360	6.158	0.320	-0.160	0.520	0.301	1.854	5.702	0.404	2.304
18-02-03	0.450	3.919	0.362	-0.170	0.620	0.345	1.353	7.015	0.445	3.124
04-07-02	0.850	7.845	0.379	0.150	0.700	0.469	3.680	8.093	0.476	3.854
24-10-02	0.820	9.702	0.333	0.090	0.730	0.630	6.115	8.504	0.487	4.144
05-06-08	0.155	11.161	0.494	-0.595	0.750	1.177	13.131	8.779	0.495	4.343
14-11-02	0.820	9.920	0.421	-0.010	0.830	0.635	6.301	9.892	0.523	5.176
21-11-03	0.550	11.522	0.509	-0.350	0.900	0.378	4.351	10.882	0.547	5.954
06-12-05	0.290	8.476	0.464	-0.660	0.950	0.546	4.630	11.598	0.564	6.539
29-05-03	0.805	10.249	0.444	-0.195	1.000	0.507	5.194	12.320	0.580	7.146
21-08-03	1.020	18.816	0.776	-0.030	1.050	0.631	11.866	13.049	0.596	7.775
12-09-02	1.610	22.226	0.887	0.440	1.170	0.779	17.322	14.823	0.633	9.377
11-10-02	0.975	18.783	0.768	-0.225	1.200	0.712	13.365	15.272	0.642	9.797
07-09-04	0.775	25.252	1.007	-0.815	1.590	0.452	11.426	21.274	0.750	15.946
27-11-06	0.190	15.330	0.704	-1.410	1.600	0.746	11.429	21.432	0.752	16.120
08-08-07	0.320	19.479	0.812	-1.560	1.880	0.754	14.684	25.916	0.822	21.311
12-07-04	1.280	35.651	1.385	-0.740	2.020	0.750	26.746	28.204	0.856	24.132
19-06-07	0.590	23.041	0.914	-1.560	2.150	0.913	21.037	30.355	0.886	26.884
21-08-06	0.870	34.275	1.207	-1.330	2.200	1.161	39.783	31.188	0.897	27.975

Tabla 6. 5. Caudales generados a partir del método área – velocidad estación Las Cruces.

6.1.4. Aplicación del método Área – Velocidad Media para época seca y lluviosa.

Para ambas épocas se realiza el análisis del método de Área - Velocidad siempre con el fin de realizarse el análisis de comparación de caudales entre los métodos desarrollados, en las Figuras 16 y 17 se presentan los gráficos desarrollados por el método para obtenerse las ecuaciones de área y velocidad de la sección respecto a las altura y así obtener un caudal a partir de estos datos.

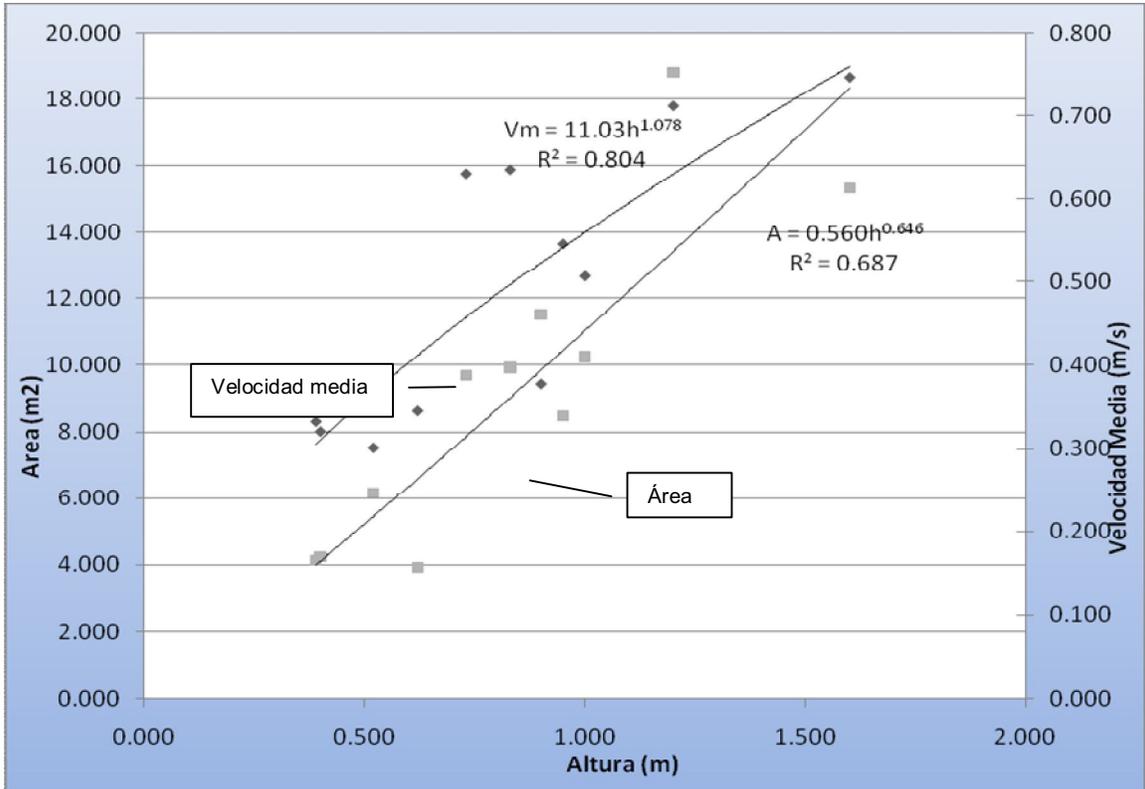


Figura 16. Grafico método área – velocidad para la estación Las Cruces época seca.

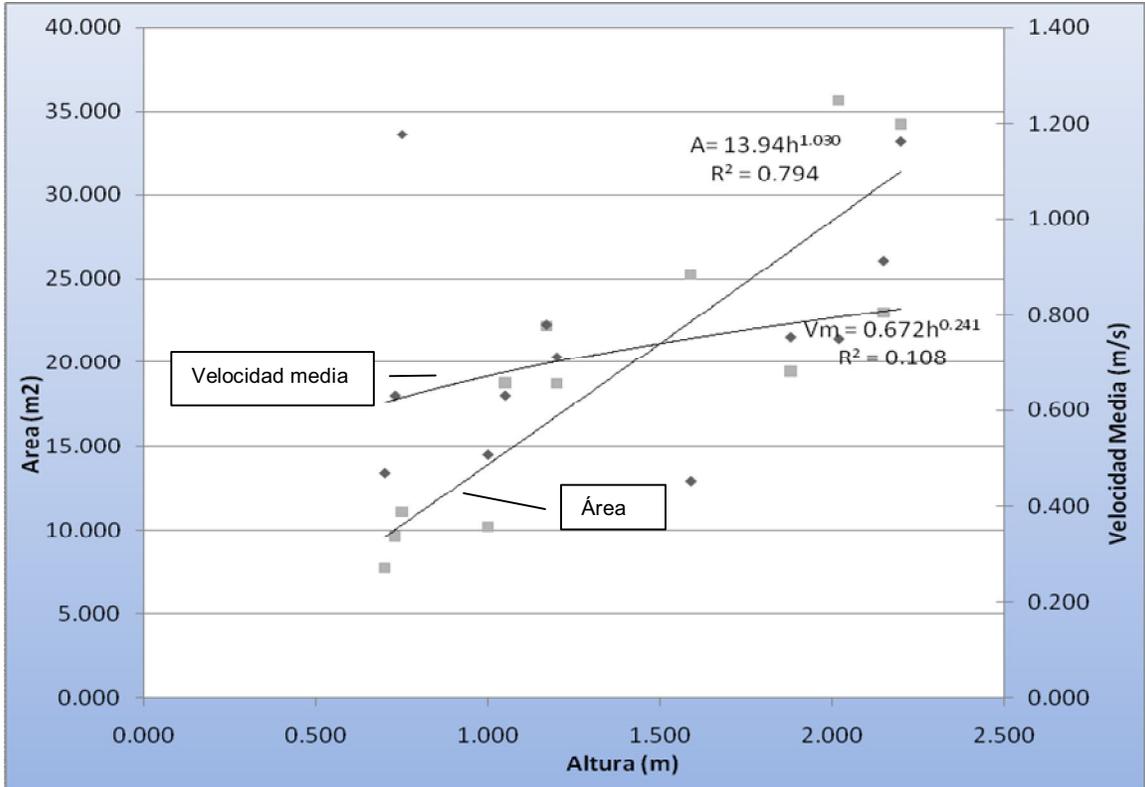


Figura 17. Grafico método área – velocidad para la estación Las Cruces época lluviosa

En las tablas 6.6 y 6.7 se presentan los valores obtenidos por medio de las ecuaciones de área y velocidad a partir de los gráficos anteriores, y se muestran los valores de caudal obtenidos con estos valores.

Fecha de Aforo	Nivel Escala (m)	Area (A, m ²)	Radio Hidraulico (H)	Ho	Profundidad Total	Velocidad Media Vm	Caudal (m ³ /s)	Area (11.03*h ^{1.078})	Velocidad (0.56*h ^{0.646})	Q calculado A x V
07-03-02	0.570	4.125	0.256	0.180	0.390	0.333	1.372	3.997	0.305	1.218
07-03-02	0.570	4.225	0.262	0.170	0.400	0.321	1.355	4.108	0.310	1.273
06-03-04	0.360	6.158	0.320	-0.160	0.520	0.301	1.854	5.450	0.367	2.001
18-02-03	0.450	3.919	0.362	-0.170	0.620	0.345	1.353	6.588	0.411	2.709
24-10-02	0.820	9.702	0.333	0.090	0.730	0.630	6.115	7.857	0.457	3.590
14-11-02	0.820	9.920	0.421	-0.010	0.830	0.635	6.301	9.023	0.496	4.480
21-11-03	0.550	11.522	0.509	-0.350	0.900	0.378	4.351	9.846	0.523	5.151
06-12-05	0.290	8.476	0.464	-0.660	0.950	0.546	4.630	10.437	0.542	5.654
29-05-03	0.805	10.249	0.444	-0.195	1.000	0.507	5.194	11.030	0.560	6.177
11-10-02	0.975	18.783	0.768	-0.225	1.200	0.712	13.365	13.426	0.630	8.458
27-11-06	0.190	15.330	0.704	-1.410	1.600	0.746	11.429	18.307	0.759	13.889

Tabla 6. 6. Caudales generados a partir del método área – velocidad estación Las Cruces época seca.

Fecha de Aforo	Nivel Escala (m)	Area (A, m ²)	Radio Hidraulico (H)	Ho	Profundidad Total	Velocidad Media Vm	Caudal (m ³ /s)	Area (13.94*h ^{1.03})	Velocidad (0.672*h ^{0.241})	Q calculado A x V
04-07-02	0.850	7.845	0.379	0.150	0.700	0.469	3.680	9.654	0.617	5.953
24-10-02	0.820	9.702	0.333	0.090	0.730	0.630	6.115	10.081	0.623	6.279
05-06-08	0.155	11.161	0.494	-0.595	0.750	1.177	13.131	10.365	0.627	6.499
29-05-03	0.805	10.249	0.444	-0.195	1.000	0.507	5.194	13.940	0.672	9.368
21-08-03	1.020	18.816	0.776	-0.030	1.050	0.631	11.866	14.658	0.680	9.967
12-09-02	1.610	22.226	0.887	0.440	1.170	0.779	17.322	16.387	0.698	11.437
11-10-02	0.975	18.783	0.768	-0.225	1.200	0.712	13.365	16.820	0.702	11.811
07-09-04	0.775	25.252	1.007	-0.815	1.590	0.452	11.426	22.475	0.751	16.889
08-08-07	0.320	19.479	0.812	-1.560	1.880	0.754	14.684	26.708	0.782	20.897
12-07-04	1.280	35.651	1.385	-0.740	2.020	0.750	26.746	28.759	0.796	22.895
19-06-07	0.590	23.041	0.914	-1.560	2.150	0.913	21.037	30.667	0.808	24.783
21-08-06	0.870	34.275	1.207	-1.330	2.200	1.161	39.783	31.402	0.813	25.518

Tabla 6. 7. Caudales generados a partir del método área – velocidad estación Las Cruces época lluviosa.

6.1.5. Curva analítica de primer tipo

En la mayoría de los estudios hidrológicos se utiliza las ecuaciones de las curvas de descargas características de las estaciones, pero estas llevan implícitas muchas consideraciones al momento de su elaboración como la del promedio de los h_0 , por lo tanto se obtendrán los caudales a partir de la ecuación de descarga para luego comparar con lo obtenido del método de Manning y el de Área – Velocidad, para tal fin se partirá con los factores proporcionados por el INSIVUMEH.

Factores de la ecuación para la elaboración de la curva de descarga Estación Las Cruces

k	h_0	z
11.17	0.12	2.12

$$Q = k \cdot (h - h_0)^z$$

En la Tabla 6.8. Se presentan los valores de Q obtenidos por medio de este método.

Fecha de Aforo	Nivel Escala (m)	Caudal Aforo (m3/s)	Caudal Q = $k^*(h-h_0)^z$ (m3/s)
05-06-08	0.155	13.131	0.009
27-11-06	0.190	11.429	0.040
06-12-05	0.290	4.630	0.261
08-08-07	0.320	14.684	0.368
06-03-04	0.360	1.854	0.542
18-02-03	0.450	1.353	1.065
21-11-03	0.550	4.351	1.866
07-03-02	0.570	1.372	2.055
07-03-02	0.570	1.355	2.055
19-06-07	0.590	21.037	2.254
07-09-04	0.775	11.426	4.555
29-05-03	0.805	5.194	5.009
24-10-02	0.820	6.115	5.244
14-11-02	0.820	6.301	5.244
04-07-02	0.850	3.680	5.732
21-08-06	0.870	39.783	6.070
11-10-02	0.975	13.365	8.013
21-08-03	1.020	11.866	8.934
12-07-04	1.280	26.746	15.300
12-09-02	1.610	17.322	26.014

Tabla 6. 8. Caudales generados a partir de la ecuación de la curva de descarga estación Las Cruces

En la Figura 18 se presenta la curva de Descarga obtenida para la estación Las Cruces, considerando el comportamiento y los aforos presentados anteriormente.

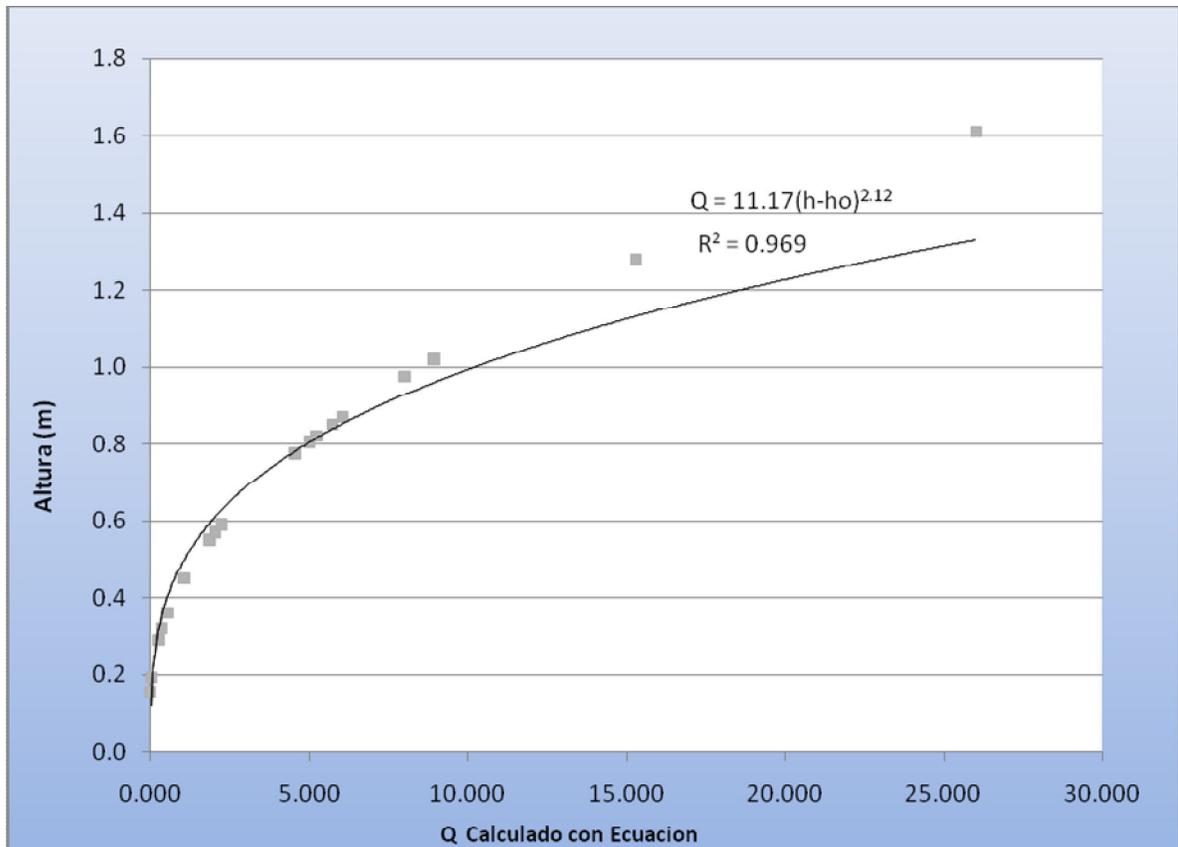


Figura 18. Curva de Descarga Estación Las Cruces.

6.1.6. Curva analítica de primer tipo para época seca y lluviosa

En el caso de la curva analítica de primer tipo, se utiliza una misma ecuación independiente de la época del año, a no ser que los encargados de la obtención de estas ecuaciones realicen la validación de estas para distintos periodos, pero en muchos casos se utiliza la misma ecuación para ambas épocas por lo que a continuación se realiza el análisis con la ecuación de la curva de descarga característica para la estación en ambas épocas.

En las Tablas 6.9 y 6.10. Se presentan los valores de Q obtenidos por medio de este método para ambas épocas.

Fecha de Aforo	Nivel Escala (m)	Caudal Aforo (m3/s)	Caudal $Q = k^*(h-h_0)^z$ (m3/s)
27-11-06	0.190	11.429	0.040
06-12-05	0.290	4.630	0.261
06-03-04	0.360	1.854	0.542
18-02-03	0.450	1.353	1.065
21-11-03	0.550	4.351	1.866
07-03-02	0.570	1.372	2.055
07-03-02	0.570	1.355	2.055
29-05-03	0.805	5.194	5.009
24-10-02	0.820	6.115	5.244
14-11-02	0.820	6.301	5.244
11-10-02	0.975	13.365	8.013

Tabla 6. 9. Caudales generados a partir de la ecuación de la curva de descarga estación Las Cruces época seca

Fecha de Aforo	Nivel Escala (m)	Caudal Aforo (m3/s)	Caudal $Q = k^*(h-h_0)^z$ (m3/s)
05-06-08	0.155	13.131	0.009
08-08-07	0.320	14.684	0.368
19-06-07	0.590	21.037	2.254
07-09-04	0.775	11.426	4.555
29-05-03	0.805	5.194	5.009
24-10-02	0.820	6.115	5.244
04-07-02	0.850	3.680	5.732
21-08-06	0.870	39.783	6.070
11-10-02	0.975	13.365	8.013
21-08-03	1.020	11.866	8.934
12-07-04	1.280	26.746	15.300
12-09-02	1.610	17.322	26.014

Tabla 6. 10. Caudales generados a partir de la ecuación de la curva de descarga estación Las Cruces época lluviosa

En las Figura 19 y 20 se presentan las curvas de Descarga obtenida para la estación Las Cruces tanto para la época seca como la época lluviosa, considerando el comportamiento y los aforos presentados anteriormente.

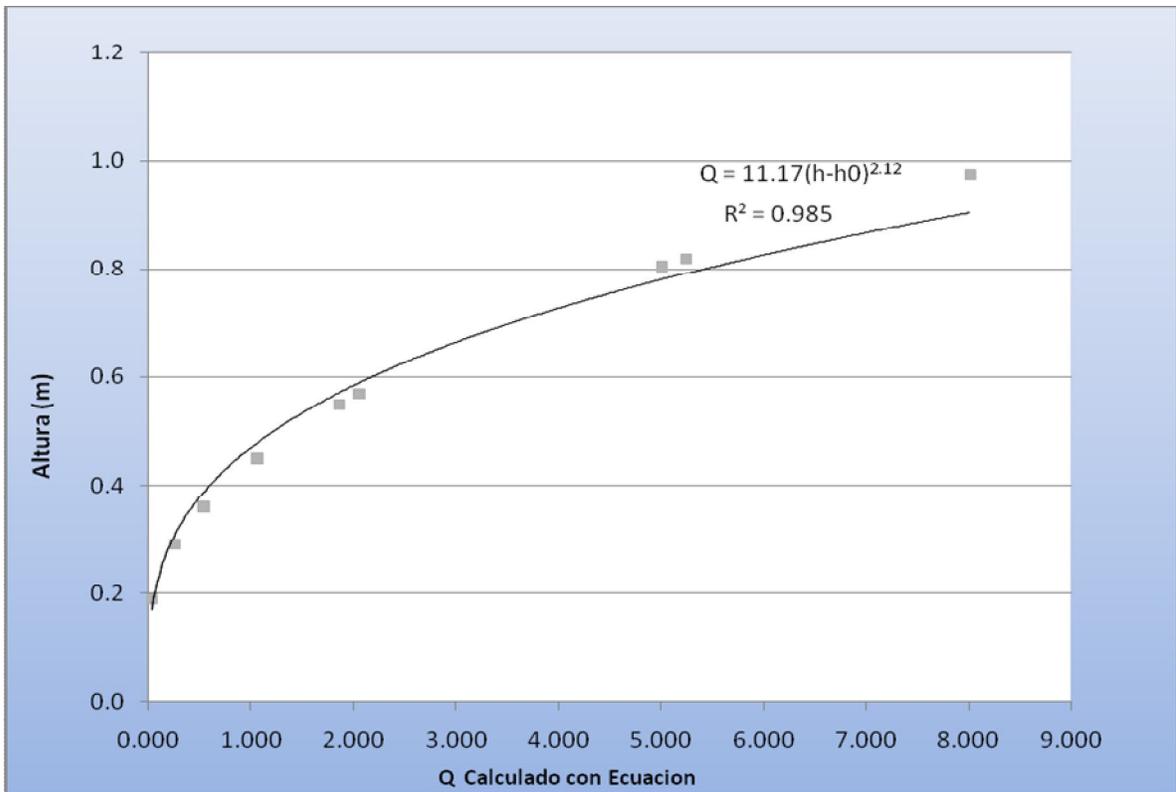


Figura 19. Curva de Descarga Estación Las Cruces época seca.

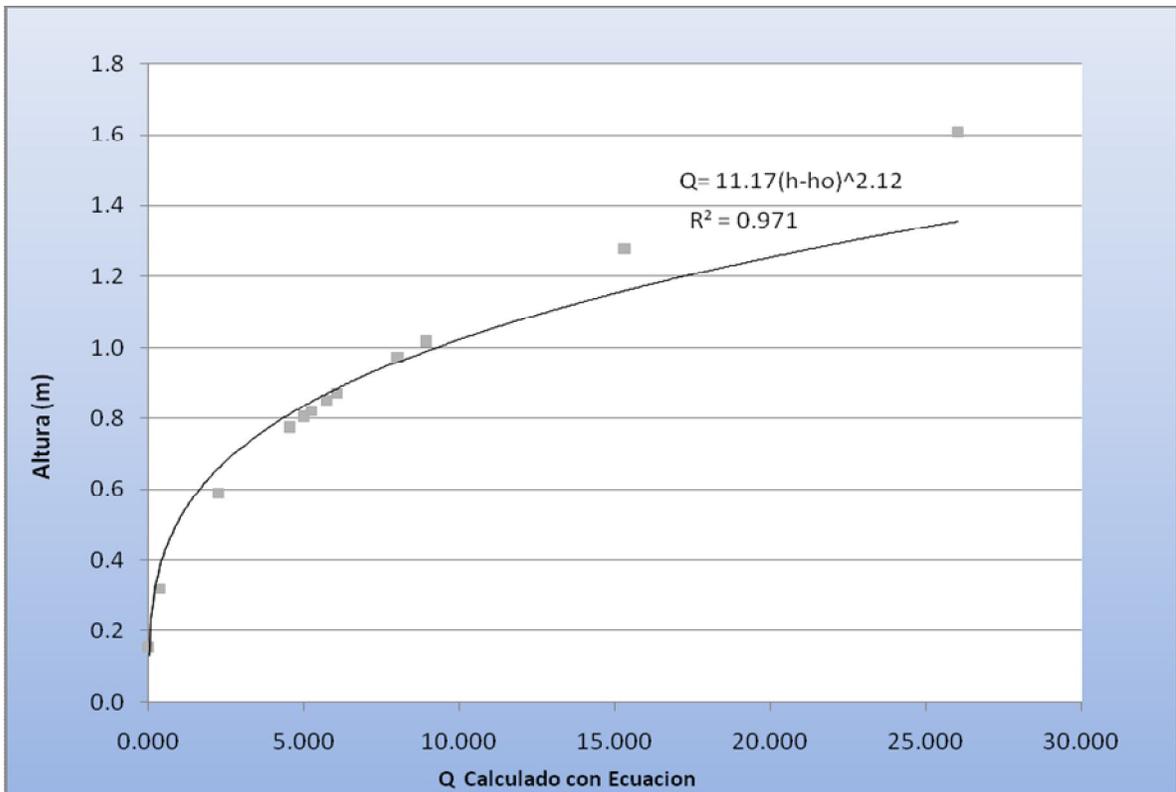


Figura 20. Curva de Descarga Estación Las Cruces época lluviosa.

6.1.7. Comparación de caudales generados por los tres métodos en la estación Las Cruces.

En la Tabla 6.11 se presentan los valores de los caudales generados en los métodos desarrollados anteriormente junto con el gráfico de comparación entre estos y el caudal obtenido por medio de los aforos realizados en la estación.

Fecha de Aforo	Nivel Escala (m)	Caudal Aforo (m3/s)	Caudal $Q = k^*(h-h_0)^z$ (m3/s)	Q calculado A x V	Q calculado con Manning (n = 0.040)
05-06-08	0.155	13.131	0.009	4.343	5.683
27-11-06	0.190	11.429	0.040	16.120	9.887
06-12-05	0.290	4.630	0.261	6.539	4.141
08-08-07	0.320	14.684	0.368	21.311	13.816
06-03-04	0.360	1.854	0.542	2.304	2.348
18-02-03	0.450	1.353	1.065	3.124	1.621
21-11-03	0.550	4.351	1.866	5.954	5.987
07-03-02	0.570	1.355	2.055	1.400	1.354
07-03-02	0.570	1.372	2.055	1.463	1.409
19-06-07	0.590	21.037	2.254	26.884	17.680
07-09-04	0.775	11.426	4.555	15.946	20.666
29-05-03	0.805	5.194	5.009	7.146	4.862
14-11-02	0.820	6.301	5.244	4.144	3.801
24-10-02	0.820	6.115	5.244	5.176	4.541
04-07-02	0.850	3.680	5.732	3.854	3.349
21-08-06	0.870	39.783	6.070	27.975	31.667
11-10-02	0.975	13.365	8.013	9.797	12.830
21-08-03	1.020	11.866	8.934	7.775	12.943
12-07-04	1.280	26.746	15.300	24.132	36.088
12-09-02	1.610	17.322	26.014	9.377	16.717

Tabla 6. 11. Caudales generados por los tres métodos para la estación Las Cruces.

Por medio del grafico presentado en la Figura 21 se realiza la comparación de los tres métodos utilizados para poderse obtener un análisis de las tendencias en los valores de los caudales por medio grafico.

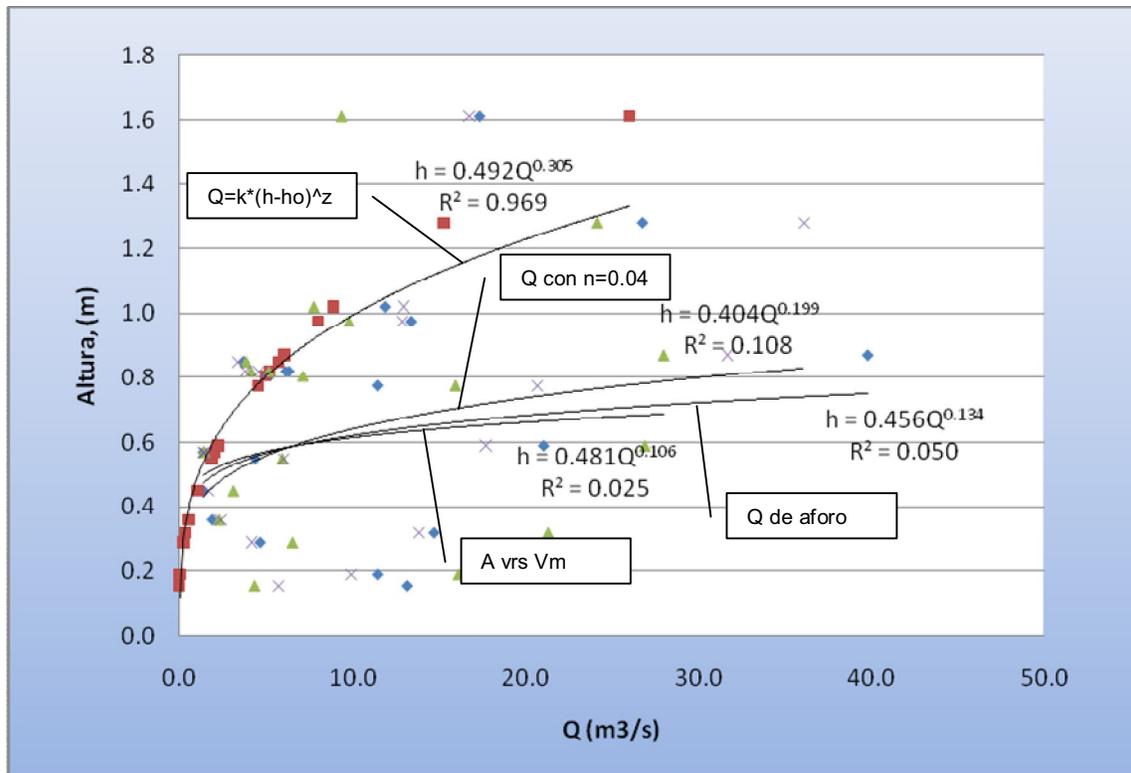


Figura 21. Grafico de comparación entre los caudales generados y los caudales de aforo.

Como se puede observar en la figura anterior, entre los métodos desarrollados, la tendencia de los valores de los caudales obtenidos por medio de la curva de descarga son los que más se alejan a la tendencia de los caudales aforados, además se observa que la tendencia de los valores de caudales obtenidos por medio de la ecuación de Manning utilizando el coeficiente de rugosidad obtenido de 0.040, presenta un comportamiento similar a la tendencia de los caudales de aforo reales al igual que con el método de área – velocidad.

Se debe hacer notar que a pesar que los coeficientes de correlación presentados en el grafico anterior son muy bajos, el objetivo de la comparación es la de relacionar las tendencias de los métodos con los datos de caudales reales obtenidos por medio de los aforos.

6.1.8. Comparación de caudales generados por los tres métodos en la estación Las Cruces para época seca y lluviosa.

En las Tablas 6.12 y 6.13 se presentan los valores de los caudales generados en los tres métodos desarrollados anteriormente junto con el grafico de comparación entre estos y el caudal aforado para la estación separados para las épocas seca y lluviosa.

Fecha de Aforo	Nivel Escala (m)	Caudal Aforo (m3/s)	Caudal Q = $k^*(h-h_0)^z$ (m3/s)	Q calculado A x V	Q calculado con Manning (n = 0.039)
27-11-06	0.190	11.429	0.040	13.889	10.009
06-12-05	0.290	4.630	0.261	5.654	4.192
06-03-04	0.360	1.854	0.542	2.001	2.377
18-02-03	0.450	1.353	1.065	2.709	1.641
21-11-03	0.550	4.351	1.866	5.151	6.061
07-03-02	0.570	1.355	2.055	1.218	1.371
07-03-02	0.570	1.372	2.055	1.273	1.427
29-05-03	0.805	5.194	5.009	6.177	4.922
24-10-02	0.820	6.115	5.244	3.590	3.848
14-11-02	0.820	6.301	5.244	4.480	4.597
11-10-02	0.975	13.365	8.013	8.458	12.989

Tabla 6. 12. Caudales generados por los tres métodos para la estación Las Cruces época seca.

Fecha de Aforo	Nivel Escala (m)	Caudal Aforo (m3/s)	Caudal Q = $k^*(h-h_0)^z$ (m3/s)	Q calculado A x V	Q calculado con Manning (n = 0.039)
05-06-08	0.155	13.131	0.009	6.499	6.194
08-08-07	0.320	14.684	0.368	20.897	15.058
19-06-07	0.590	21.037	2.254	24.783	19.270
07-09-04	0.775	11.426	4.555	16.889	22.525
29-05-03	0.805	5.194	5.009	9.368	5.299
24-10-02	0.820	6.115	5.244	6.279	4.143
04-07-02	0.850	3.680	5.732	5.953	3.650
21-08-06	0.870	39.783	6.070	25.518	34.515
11-10-02	0.975	13.365	8.013	11.811	13.984
21-08-03	1.020	11.866	8.934	9.967	14.107
12-07-04	1.280	26.746	15.300	22.895	39.333
12-09-02	1.610	17.322	26.014	11.437	18.221

Tabla 6. 13. Caudales generados por los tres métodos para la estación Las Cruces época lluviosa.

A continuación se presentan las tendencias de los valores obtenidos de caudales por medio de los métodos desarrollados para las épocas seca y lluviosa para la estación Las Cruces.

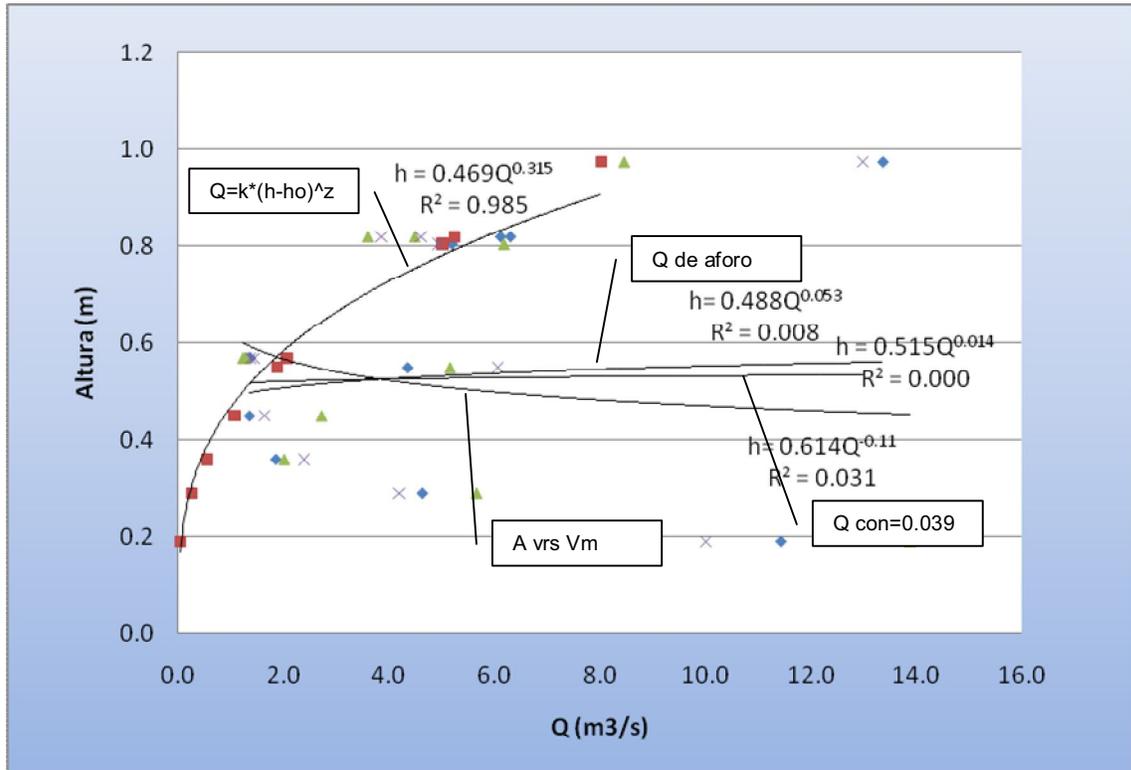


Figura 22. Grafico de comparación entre los caudales generados y los caudales de aforo época seca estación Las Cruces.

Para la época seca se observa que el comportamiento de las tendencias es similar al análisis de los datos completos para la estación Las Cruces, siendo el método de la curva de descarga la que presenta el comportamiento mas alejado respecto al de los caudales reales.

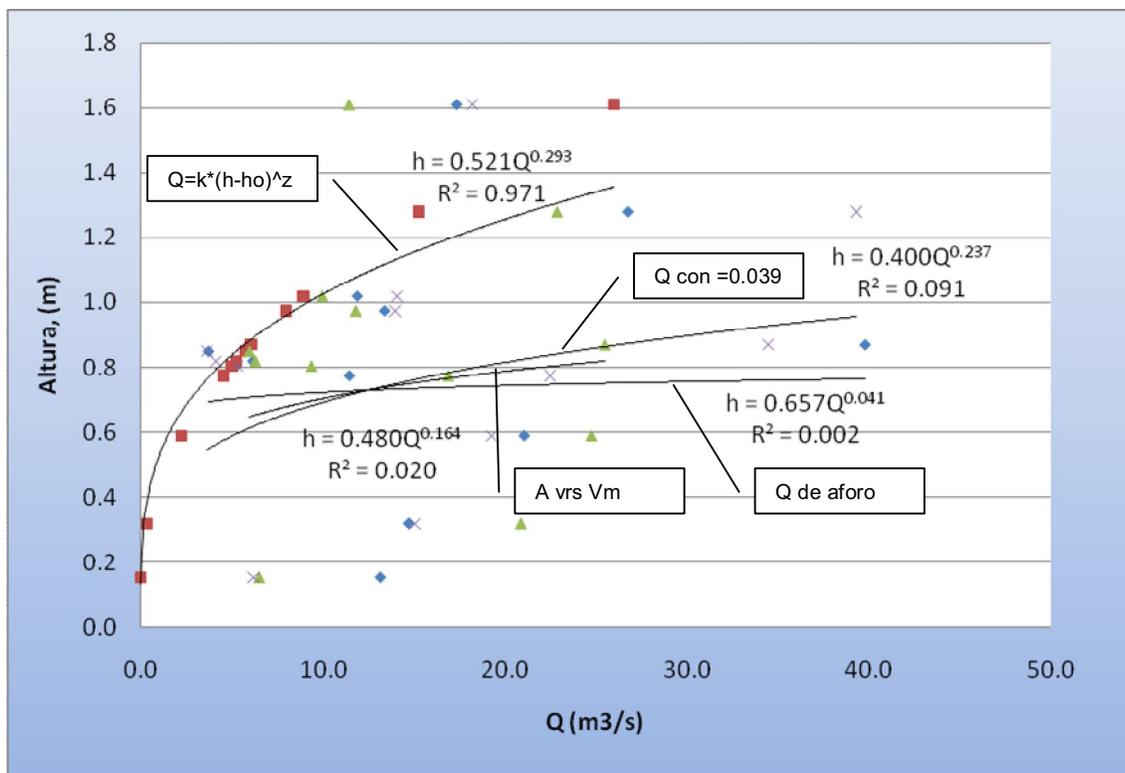


Figura 23. Grafico de comparación entre los caudales generados y los caudales de aforo época lluviosa, estación Las Cruces.

En este caso de época lluviosa se observa que el comportamiento de las tendencias es similar al del época seca y donde en ambos casos se utiliza el coeficiente de Manning obtenidos de 0.039.

6.2. Análisis para la estación Las Lechuzas.

A continuación se desarrollara el análisis para la estación Las Lechuzas siguiendo la misma metodología desarrollada anteriormente.

6.2.1. Aplicación de la fórmula de Manning.

Como se explica en la parte conceptual este método utiliza para su desarrollo los factores geométricos como los factores hidráulicos, pero en nuestro desarrollo se

obtendrá solo la curva del factor geométrico vrs nivel con el fin de que a partir de estos valores y con la pendiente media de la cuenca de $S = 0.00106$, obtener el valor de n para cada aforo.

En la 6.14. se presentan los valores de los factores geométricos $A^*R^{2/3}$

Fecha de Aforo	Nivel Escala (m)	Area (A, m ²)	Radio Hidraulico (H)	Ho	Profundidad Total	Velocidad Media Vm	Caudal (m ³ /s)	Factor Geometrico ($A^*R^{(2/3)}$)
22-03-05	0.220	9.787	0.560	-0.680	0.900	0.111	1.085	6.650
05-03-04	0.230	10.693	0.579	-0.730	0.960	0.135	1.447	7.424
27-02-06	0.230	9.932	0.518	-0.750	0.980	0.134	1.334	6.404
07-03-02	0.250	13.597	0.621	-0.750	1.000	0.093	1.269	9.893
23-10-07	0.210	9.316	0.557	-0.790	1.000	0.153	1.426	6.308
07-12-05	0.310	11.327	0.549	-0.720	1.030	0.181	2.052	7.594
19-02-03	0.250	10.109	0.563	-0.790	1.040	0.109	1.099	6.896
21-11-03	0.330	12.271	0.621	-0.740	1.070	0.217	2.664	8.928
07-03-02	0.660	15.020	0.678	-0.430	1.090	0.082	1.231	11.590
24-10-02	0.370	16.353	0.693	-0.830	1.200	0.147	2.403	12.803
03-08-05	0.390	15.343	0.735	-0.810	1.200	0.547	8.399	12.496
07-08-07	0.625	20.512	0.571	-0.625	1.250	0.481	9.858	14.125
12-09-02	0.580	18.846	0.744	-0.680	1.260	0.375	7.071	15.478
21-08-03	0.600	17.420	0.780	-0.660	1.260	0.382	6.661	14.761
07-09-04	0.530	16.880	0.798	-0.790	1.320	0.389	6.561	14.521
19-06-07	0.620	23.465	0.663	-0.730	1.350	0.412	9.664	17.846
09-06-05	0.600	19.568	0.830	-0.780	1.380	0.417	8.169	17.280
11-10-02	0.640	22.575	0.667	-0.820	1.460	0.367	8.284	17.239
12-07-04	0.775	25.344	0.711	-0.775	1.550	0.792	20.065	20.187
22-10-07	1.235	42.083	1.165	-0.865	2.100	0.982	41.343	46.581

Tabla 6. 14. Factores geométricos para la estación Las Lechuzas

Con los valores antes presentados se grafican los resultados obteniéndose la línea de mejor tendencia de los datos. (ver Figura 24)

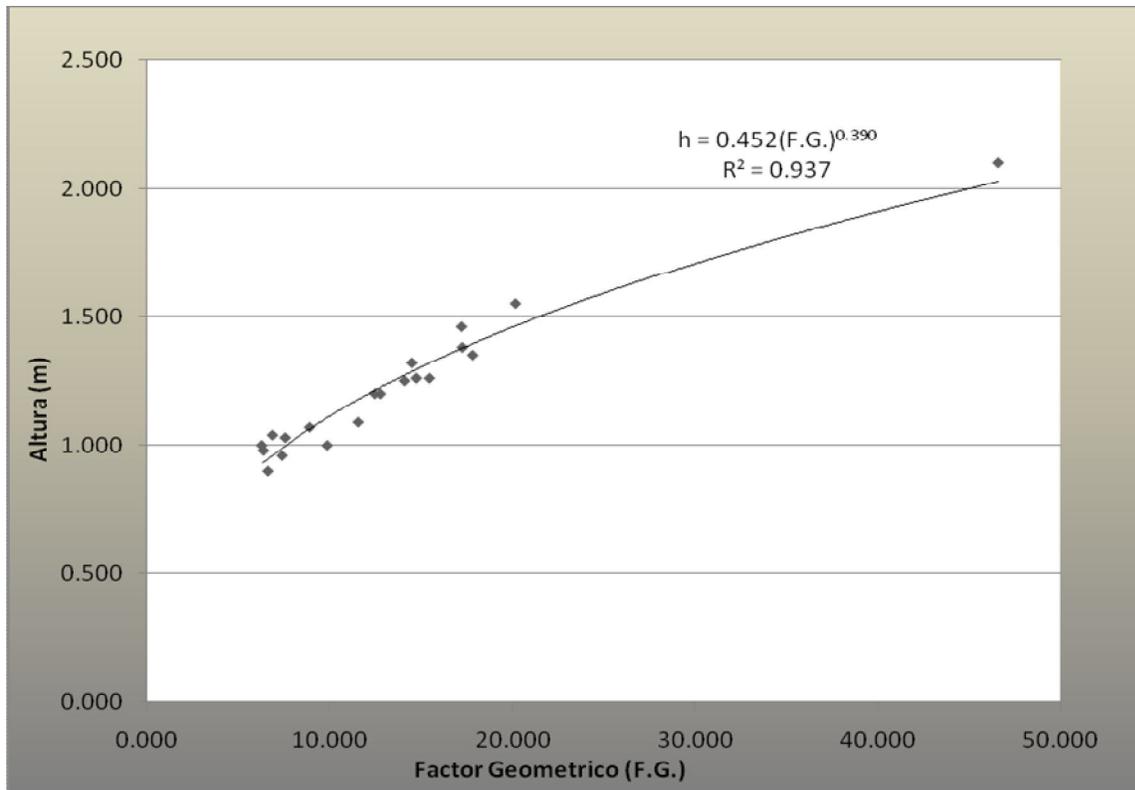


Figura 24. Grafico método Manning para estación Las Lechuzas.

Con los valores de los factores geométricos conocidos, con la ecuación de Manning $Q = (A \cdot R^{2/3}) \cdot (S^{1/2} / n)$ y el valor medio de pendiente $S = 0.00106$ se despeja el valor de n y se obtienen los valores que se presenta en la Tabla 6.15

A partir de estos datos se obtiene el promedio de los valores de n para realizar el cálculo de los valores de caudal por medio de la ecuación de Manning con el valor de n seleccionado.

Fecha de Aforo	Nivel Escala (m)	Area (A, m ²)	Radio Hidraulico (H)	Ho	Profundidad Total	Velocidad Media Vm	Caudal (m ³ /s)	Factor Geometrico (A*R ^{2/3})	n calculado	Q calculado con Manning (n = 0.121)
22-03-05	0.220	9.787	0.560	-0.680	0.900	0.111	1.085	6.650	0.200	1.796
05-03-04	0.230	10.693	0.579	-0.730	0.960	0.135	1.447	7.424	0.167	2.005
27-02-06	0.230	9.932	0.518	-0.750	0.980	0.134	1.334	6.404	0.156	1.729
07-03-02	0.250	13.597	0.621	-0.750	1.000	0.093	1.269	9.893	0.254	2.671
23-10-07	0.210	9.316	0.557	-0.790	1.000	0.153	1.426	6.308	0.144	1.703
07-12-05	0.310	11.327	0.549	-0.720	1.030	0.181	2.052	7.594	0.121	2.051
19-02-03	0.250	10.109	0.563	-0.790	1.040	0.109	1.099	6.896	0.204	1.862
21-11-03	0.330	12.271	0.621	-0.740	1.070	0.217	2.664	8.928	0.109	2.411
07-03-02	0.660	15.020	0.678	-0.430	1.090	0.082	1.231	11.590	0.306	3.130
24-10-02	0.370	16.353	0.693	-0.830	1.200	0.147	2.403	12.803	0.173	3.457
03-08-05	0.390	15.343	0.735	-0.810	1.200	0.547	8.399	12.496	0.048	3.374
07-08-07	0.625	20.512	0.571	-0.625	1.250	0.481	9.858	14.125	0.047	3.814
12-09-02	0.580	18.846	0.744	-0.680	1.260	0.375	7.071	15.478	0.071	4.180
21-08-03	0.600	17.420	0.780	-0.660	1.260	0.382	6.661	14.761	0.072	3.986
07-09-04	0.530	16.880	0.798	-0.790	1.320	0.389	6.561	14.521	0.072	3.921
19-06-07	0.620	23.465	0.663	-0.730	1.350	0.412	9.664	17.846	0.060	4.819
09-06-05	0.600	19.568	0.830	-0.780	1.380	0.417	8.169	17.280	0.069	4.666
11-10-02	0.640	22.575	0.667	-0.820	1.460	0.367	8.284	17.239	0.068	4.655
12-07-04	0.775	25.344	0.711	-0.775	1.550	0.792	20.065	20.187	0.033	5.451
22-10-07	1.235	42.083	1.165	-0.865	2.100	0.982	41.343	46.581	0.037	12.578
								Promedio	0.121	

Tabla 6. 15. Calculo del valor n y Caudales con la ecuación de Manning, estación Las Lechuzas.

De la tabla anterior se obtiene que el valor de coeficiente de rugosidad obtenidos con los datos de aforo de la estación es de 0.121

6.2.2. Aplicación de la fórmula de Manning para época seca y de invierno.

Como se pretende realizar una comparación entre las épocas secas y de invierno en la estación se consideran las mismas características para ambos casos, tomando, como en el caso anterior, la pendiente medio de la cuenca de $S = 0.00106$ y así obtener los valores de n correspondientes.

A continuación se presentan las tablas y los gráficos con los datos seleccionados para ambas épocas.

Fecha de Aforo	Nivel Escala (m)	Area (A, m ²)	Radio Hidraulico (H)	Ho	Profundidad Total	Velocidad Media Vm	Caudal (m ³ /s)	Factor Geometrico (A*R ^{2/3})	n calculado	Q calculado con Manning (n = 0.162)
22-03-05	0.220	9.787	0.560	-0.680	0.900	0.111	1.085	6.650	0.200	1.340
05-03-04	0.230	10.693	0.579	-0.730	0.960	0.135	1.447	7.424	0.167	1.496
27-02-06	0.230	9.932	0.518	-0.750	0.980	0.134	1.334	6.404	0.156	1.290
07-03-02	0.250	13.597	0.621	-0.750	1.000	0.093	1.269	9.893	0.254	1.993
23-10-07	0.210	9.316	0.557	-0.790	1.000	0.153	1.426	6.308	0.144	1.271
07-12-05	0.310	11.327	0.549	-0.720	1.030	0.181	2.052	7.594	0.121	1.530
19-02-03	0.250	10.109	0.563	-0.790	1.040	0.109	1.099	6.896	0.204	1.389
21-11-03	0.330	12.271	0.621	-0.740	1.070	0.217	2.664	8.928	0.109	1.799
07-03-02	0.660	15.020	0.678	-0.430	1.090	0.082	1.231	11.590	0.306	2.335
24-10-02	0.370	16.353	0.693	-0.830	1.200	0.147	2.403	12.803	0.173	2.580
11-10-02	0.640	22.575	0.667	-0.820	1.460	0.367	8.284	17.239	0.068	3.473
22-10-07	1.235	42.083	1.165	-0.865	2.100	0.982	41.343	46.581	0.037	9.385
								Promedio	0.162	

Tabla 6. 16. Calculo del valor n y Caudales con la ecuación de Manning para época seca, estación Las Lechuzas.

Fecha de Aforo	Nivel Escala (m)	Area (A, m ²)	Radio Hidraulico (H)	Ho	Profundidad Total	Velocidad Media Vm	Caudal (m ³ /s)	Factor Geometrico (A*R ^{2/3})	n calculado	Q calculado con Manning (n = 0.075)
23-10-07	0.210	9.316	0.557	-0.790	1.000	0.153	1.426	6.308	0.144	2.756
24-10-02	0.370	16.353	0.693	-0.830	1.200	0.147	2.403	12.803	0.173	5.594
03-08-05	0.390	15.343	0.735	-0.810	1.200	0.547	8.399	12.496	0.048	5.460
07-08-07	0.625	20.512	0.571	-0.625	1.250	0.481	9.858	14.125	0.047	6.171
12-09-02	0.580	18.846	0.744	-0.680	1.260	0.375	7.071	15.478	0.071	6.762
21-08-03	0.600	17.420	0.780	-0.660	1.260	0.382	6.661	14.761	0.072	6.449
07-09-04	0.530	16.880	0.798	-0.790	1.320	0.389	6.561	14.521	0.072	6.344
19-06-07	0.620	23.465	0.663	-0.730	1.350	0.412	9.664	17.846	0.060	7.797
09-06-05	0.600	19.568	0.830	-0.780	1.380	0.417	8.169	17.280	0.069	7.550
11-10-02	0.640	22.575	0.667	-0.820	1.460	0.367	8.284	17.239	0.068	7.532
12-07-04	0.775	25.344	0.711	-0.775	1.550	0.792	20.065	20.187	0.033	8.820
22-10-07	1.235	42.083	1.165	-0.865	2.100	0.982	41.343	46.581	0.037	20.351
								Promedio	0.075	

Tabla 6. 17. Calculo del valor n y Caudales con la ecuación de Manning para época lluviosa, estación Las Lechuzas.

A diferencia que en el caso de la estación Las Cruces, en este caso se presentan valores distintos del valor del coeficiente de rugosidad n , siendo para la época seca de 0.162 y para época lluviosa de 0.075.

Se debe de observar que en el caso de la estación Las Lechuzas el lecho es de tipo rocoso, por lo que los valores de los coeficientes de rugosidad son altos, y que según las característica de la sección se haya presente depositacion de sedimentos en el margen del rio por lo que al alcanzar los niveles de inundación de la sección se encuentra con material de menor rugosidad, lo que explicaría la disminución el valor del coeficiente de rugosidad en época lluviosa en comparación al de la época seca.

Con los valores antes presentados se grafican los resultados obteniéndose la línea de mejor tendencia de los datos.

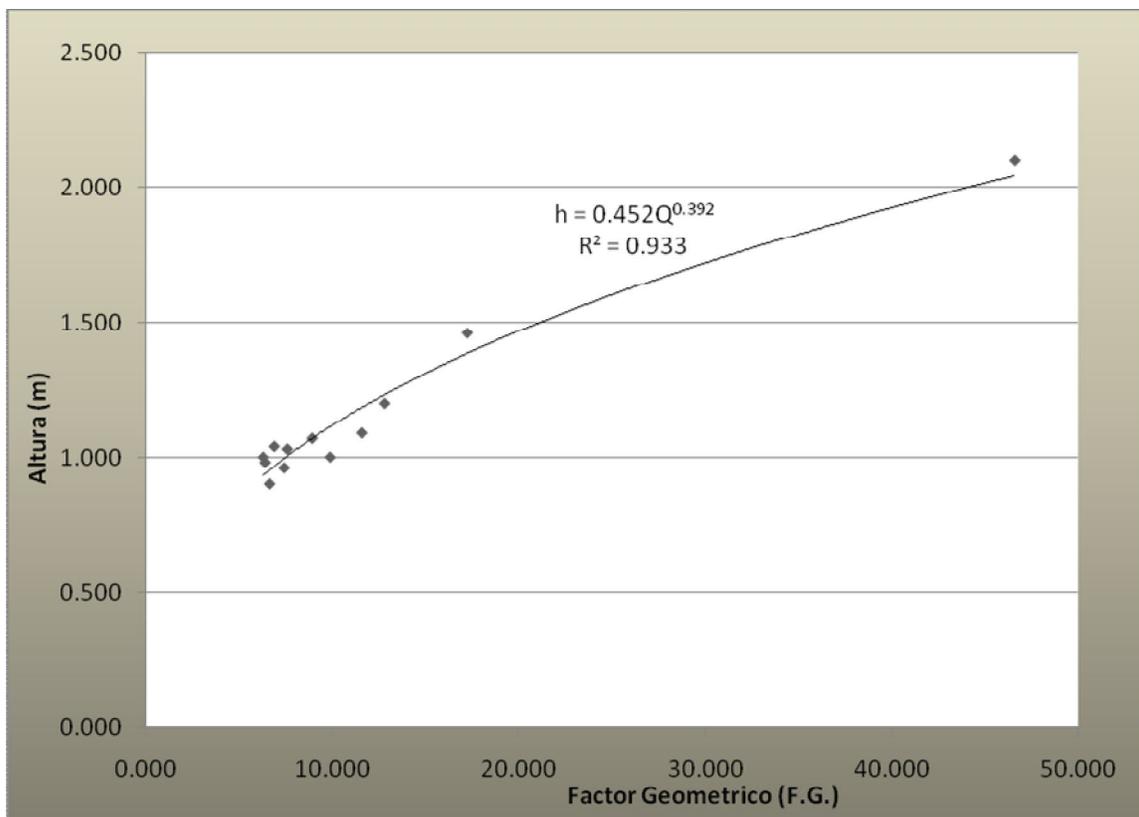


Figura 25. Grafico método Manning para estación Las Lechuzas en época seca.

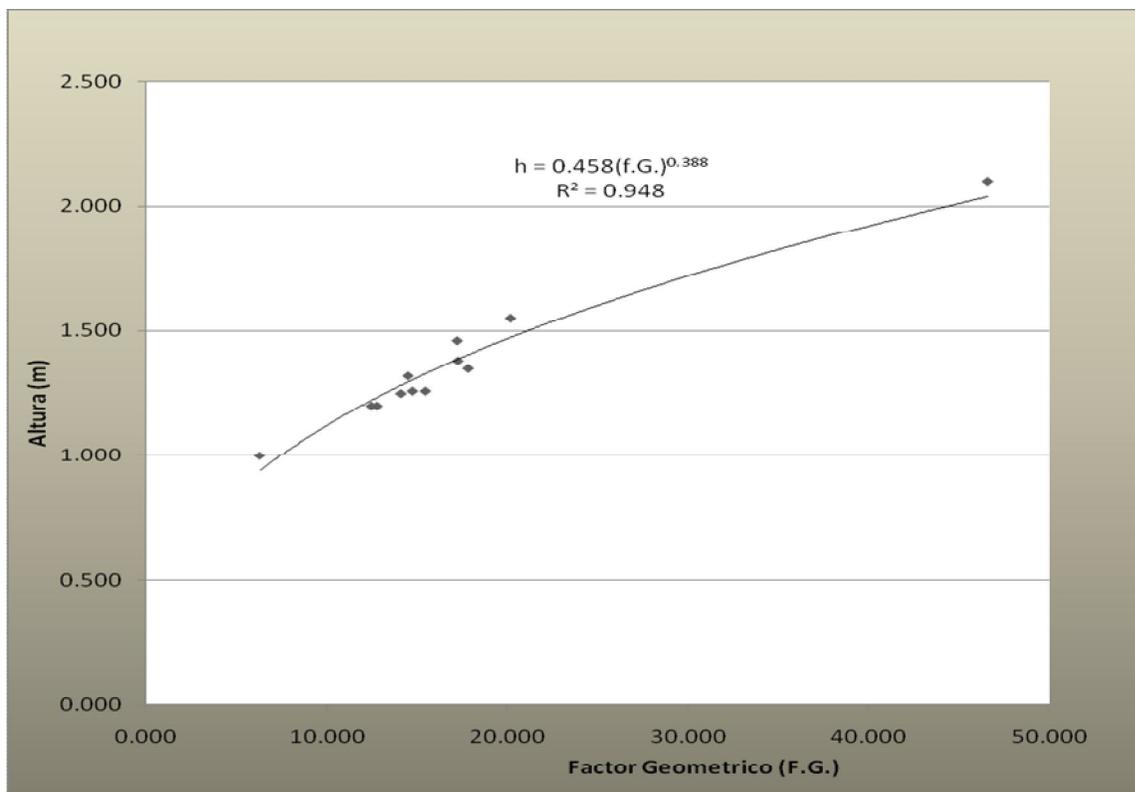


Figura 26. Gráfico método Manning para estación Las Lechuzas en época lluviosa.

6.2.3. Aplicación del método Área – Velocidad Media.

Debido a que entre los datos que se obtienen al momento de realizar los aforos están el área de la sección de estudio y su velocidad media, se procede a graficar estos parámetros con respecto a la altura (figura 27) para así obtenerse una tendencia de estos valores, luego con la ecuación generada a partir de la línea de tendencia se reevalúa los valores de área y velocidad para las distintas alturas, con el fin de obtener un nuevo caudal Q (Tabla 6.18) para luego poder comparar con los obtenidos con el valor de n seleccionado en el inciso anterior.

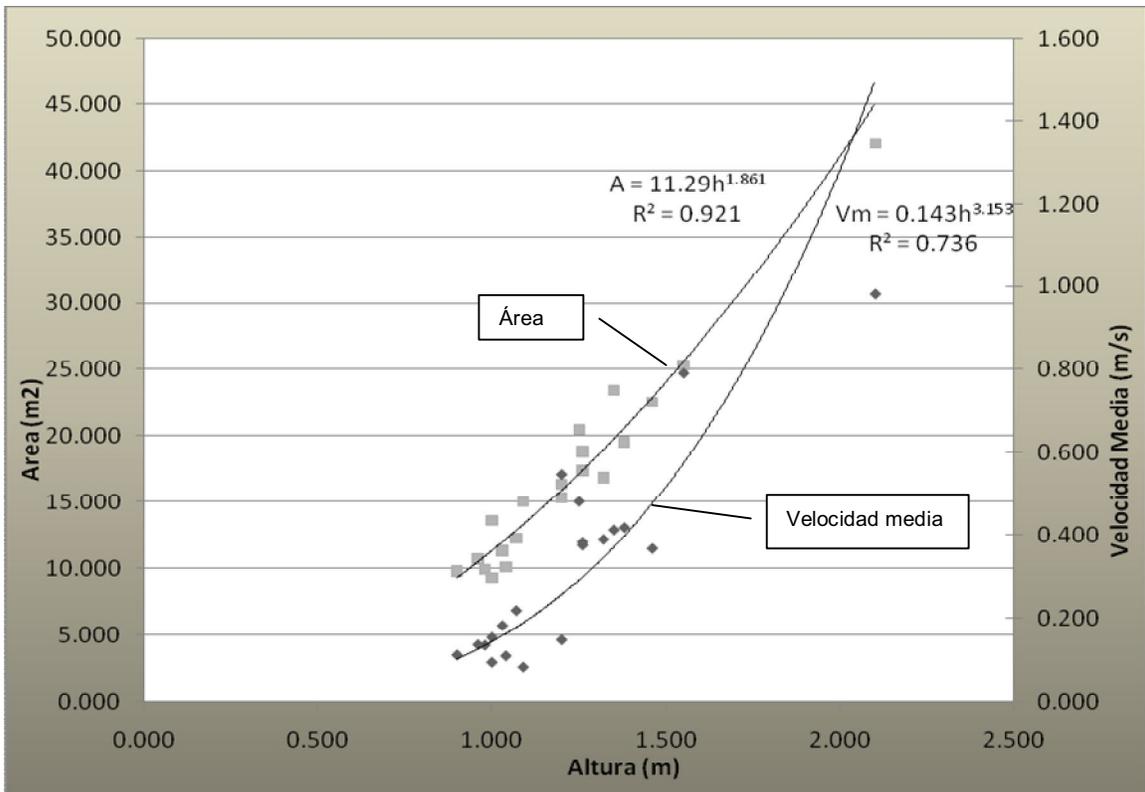


Figura 27. Grafico método área – velocidad para la estación Las Lechuzas

Fecha de Aforo	Nivel Escala (m)	Area (A, m ²)	Radio Hidraulico (H)	Ho	Profundidad Total	Velocidad Media Vm	Caudal (m ³ /s)	Area (11.29*h ^{1.861})	Velocidad (0.143*h ^{3.153})	Q calculado A x V
22-03-05	0.220	9.787	0.560	-0.680	0.900	0.111	1.085	9.280	0.103	0.952
05-03-04	0.230	10.693	0.579	-0.730	0.960	0.135	1.447	10.464	0.126	1.316
27-02-06	0.230	9.932	0.518	-0.750	0.980	0.134	1.334	10.873	0.134	1.459
07-03-02	0.250	13.597	0.621	-0.750	1.000	0.093	1.269	11.290	0.143	1.614
23-10-07	0.210	9.316	0.557	-0.790	1.000	0.153	1.426	11.290	0.143	1.614
07-12-05	0.310	11.327	0.549	-0.720	1.030	0.181	2.052	11.928	0.157	1.872
19-02-03	0.250	10.109	0.563	-0.790	1.040	0.109	1.099	12.145	0.162	1.965
21-11-03	0.330	12.271	0.621	-0.740	1.070	0.217	2.664	12.805	0.177	2.267
07-03-02	0.660	15.020	0.678	-0.430	1.090	0.082	1.231	13.254	0.188	2.487
24-10-02	0.370	16.353	0.693	-0.830	1.200	0.147	2.403	15.851	0.254	4.028
03-08-05	0.390	15.343	0.735	-0.810	1.200	0.547	8.399	15.851	0.254	4.028
07-08-07	0.625	20.512	0.571	-0.625	1.250	0.481	9.858	17.102	0.289	4.942
12-09-02	0.580	18.846	0.744	-0.680	1.260	0.375	7.071	17.357	0.296	5.144
21-08-03	0.600	17.420	0.780	-0.660	1.260	0.382	6.661	17.357	0.296	5.144
07-09-04	0.530	16.880	0.798	-0.790	1.320	0.389	6.561	18.927	0.343	6.495
19-06-07	0.620	23.465	0.663	-0.730	1.350	0.412	9.664	19.735	0.368	7.270
09-06-05	0.600	19.568	0.830	-0.780	1.380	0.417	8.169	20.559	0.395	8.117
11-10-02	0.640	22.575	0.667	-0.820	1.460	0.367	8.284	22.833	0.472	10.767
12-07-04	0.775	25.344	0.711	-0.775	1.550	0.792	20.065	25.521	0.569	14.533
22-10-07	1.235	42.083	1.165	-0.865	2.100	0.982	41.343	44.910	1.484	66.625

Tabla 6. 18. Caudales generados a partir del método área – velocidad estación Las Lechuzas.

6.2.4. Aplicación del método Área – Velocidad Media para época seca y de invierno.

Para ambas épocas se realiza el análisis del método de Área - Velocidad siempre con el fin de realizarse el análisis de comparación de caudales entre los métodos desarrollados, en las Figuras 28 y 29 se presentan los gráficos desarrollados por el método para obtenerse las ecuaciones de área y velocidad de la sección respecto a las altura y así obtener un caudal a partir de estos datos

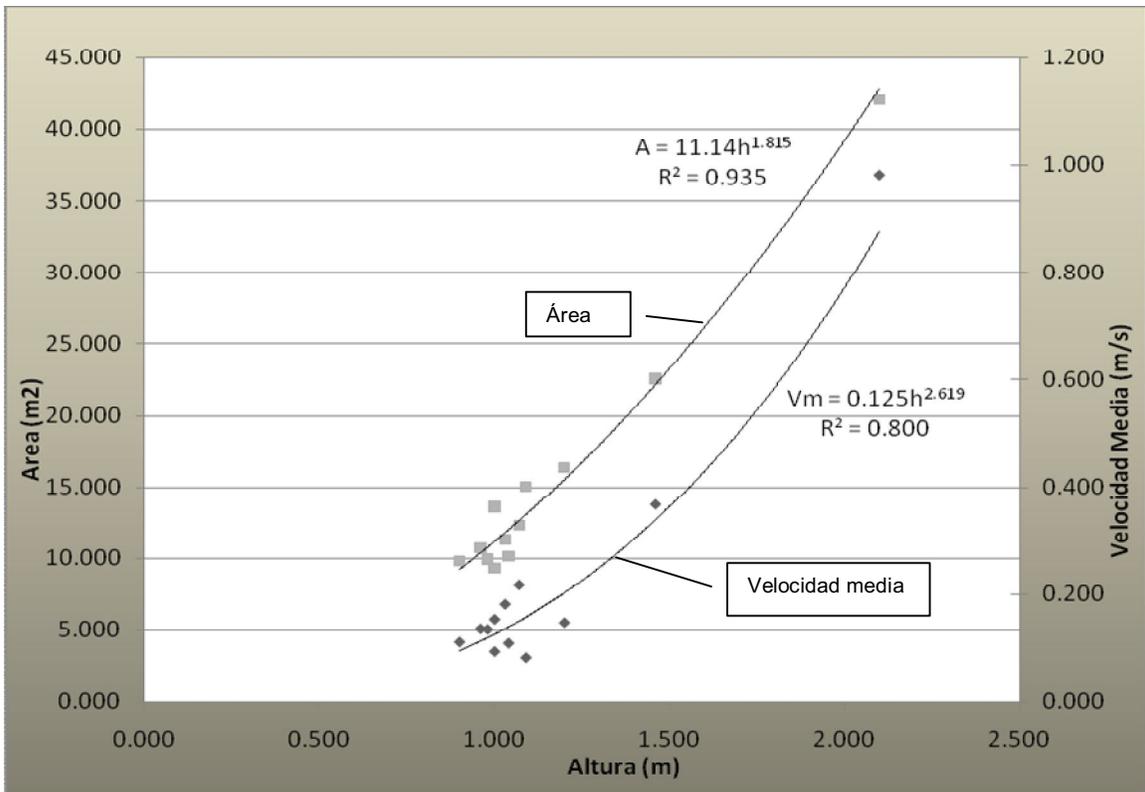


Figura 28. Gráfico método área – velocidad para la estación Las Lechuzas época seca.

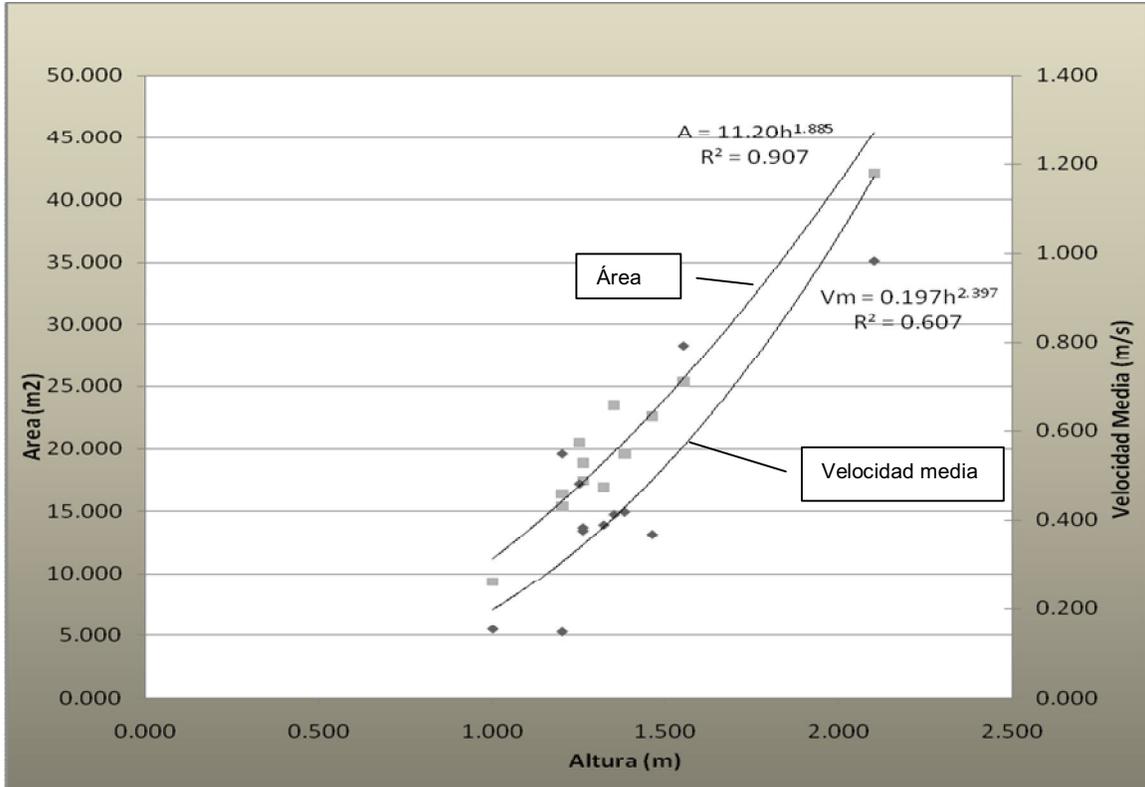


Figura 29. Gráfico método área – velocidad para la estación Las Lechuzas época lluviosa

En las tablas 6.19 y 6.20 se presentan los valores obtenidos por medio de las ecuaciones de área y velocidad a partir de los gráficos anteriores, y se muestran los valores de caudal obtenidos con estos valores.

Fecha de Aforo	Nivel Escala (m)	Area (A, m ²)	Radio Hidraulico (H)	Ho	Profundidad Total	Velocidad Media Vm	Caudal (m ³ /s)	Area (11.14*h ^{1.815})	Velocidad (0.125*h ^{2.619})	Q calculado A x V
22-03-05	0.220	9.787	0.560	-0.680	0.900	0.111	1.085	9.201	0.095	0.873
05-03-04	0.230	10.693	0.579	-0.730	0.960	0.135	1.447	10.344	0.112	1.162
27-02-06	0.230	9.932	0.518	-0.750	0.980	0.134	1.334	10.739	0.119	1.273
07-03-02	0.250	13.597	0.621	-0.750	1.000	0.093	1.269	11.140	0.125	1.393
23-10-07	0.210	9.316	0.557	-0.790	1.000	0.153	1.426	11.140	0.125	1.393
07-12-05	0.310	11.327	0.549	-0.720	1.030	0.181	2.052	11.754	0.135	1.588
19-02-03	0.250	10.109	0.563	-0.790	1.040	0.109	1.099	11.962	0.139	1.657
21-11-03	0.330	12.271	0.621	-0.740	1.070	0.217	2.664	12.596	0.149	1.880
07-03-02	0.660	15.020	0.678	-0.430	1.090	0.082	1.231	13.026	0.157	2.041
24-10-02	0.370	16.353	0.693	-0.830	1.200	0.147	2.403	15.510	0.202	3.125
11-10-02	0.640	22.575	0.667	-0.820	1.460	0.367	8.284	22.140	0.337	7.457
22-10-07	1.235	42.083	1.165	-0.865	2.100	0.982	41.343	42.827	0.873	37.369

Tabla 6. 19. Caudales generados a partir del método área – velocidad estación Las Lechuzas época seca.

Fecha de Aforo	Nivel Escala (m)	Area (A, m ²)	Radio Hidraulico (H)	Ho	Profundidad Total	Velocidad Media Vm	Caudal (m ³ /s)	Area (11.2*h ^{1.885})	Velocidad (0.197*h ^{2.397})	Q calculado A x V
23-10-07	0.210	9.316	0.557	-0.790	1.000	0.153	1.426	11.200	0.197	2.206
24-10-02	0.370	16.353	0.693	-0.830	1.200	0.147	2.403	15.793	0.305	4.817
03-08-05	0.390	15.343	0.735	-0.810	1.200	0.547	8.399	15.793	0.305	4.817
07-08-07	0.625	20.512	0.571	-0.625	1.250	0.481	9.858	17.057	0.336	5.737
12-09-02	0.580	18.846	0.744	-0.680	1.260	0.375	7.071	17.315	0.343	5.936
21-08-03	0.600	17.420	0.780	-0.660	1.260	0.382	6.661	17.315	0.343	5.936
07-09-04	0.530	16.880	0.798	-0.790	1.320	0.389	6.561	18.902	0.383	7.244
19-06-07	0.620	23.465	0.663	-0.730	1.350	0.412	9.664	19.720	0.404	7.976
09-06-05	0.600	19.568	0.830	-0.780	1.380	0.417	8.169	20.554	0.426	8.763
11-10-02	0.640	22.575	0.667	-0.820	1.460	0.367	8.284	22.857	0.488	11.154
12-07-04	0.775	25.344	0.711	-0.775	1.550	0.792	20.065	25.585	0.563	14.411
22-10-07	1.235	42.083	1.165	-0.865	2.100	0.982	41.343	45.353	1.166	52.897

Tabla 6. 20. Caudales generados a partir del método área – velocidad estación Las Lechuzas época lluviosa.

6.2.5. Curva analítica de primer tipo

En la mayoría de los estudios hidrológicos se utiliza las ecuaciones de las curvas de descargas características de las estaciones, pero estas llevan implícitas muchas consideraciones al momento de su elaboración como la del promedio de los h_0 , por lo tanto se obtendrán los caudales a partir de la ecuación de descargas para luego comparar con la obtenido del método de Manning y el de Área – Velocidad, para tal fin se partirá con los factores proporcionados por el INSIVUMEH.

Factores de la ecuación para la elaboración de la curva de descarga Estación Las Lechuzas.

k	h_0	z
30.18	0.002	2.05

$$Q = k \cdot (h - h_0)^z$$

En la Tabla 6.21. Se presentan los valores de Q obtenidos por medio de este método.

Fecha de Aforo	Nivel Escala (m)	Caudal Aforo (m3/s)	Caudal $Q = k \cdot (h-h_0)^z$ (m3/s)
23-10-07	0.210	1.426	1.207
22-03-05	0.220	1.085	1.329
05-03-04	0.230	1.447	1.457
27-02-06	0.230	1.334	1.457
07-03-02	0.250	1.269	1.731
19-02-03	0.250	1.099	1.731
07-12-05	0.310	2.052	2.699
21-11-03	0.330	2.664	3.071
24-10-02	0.370	2.403	3.888
03-08-05	0.390	8.399	4.333
07-09-04	0.530	6.561	8.149
12-09-02	0.580	7.071	9.810
21-08-03	0.600	6.661	10.519
09-06-05	0.600	8.169	10.519
19-06-07	0.620	9.664	11.252
07-08-07	0.625	9.858	11.440
11-10-02	0.640	8.284	12.012
07-03-02	0.660	1.231	12.796
12-07-04	0.775	20.065	17.803
22-10-07	1.235	41.343	46.365

Tabla 6. 21. Caudales generados a partir de la ecuación de la curva de descarga estación Las Lechuzas

En la Figura 30 se presenta la curva de Descarga obtenida para la estación Las Lechuzas, considerando el comportamiento y los aforos presentados anteriormente.

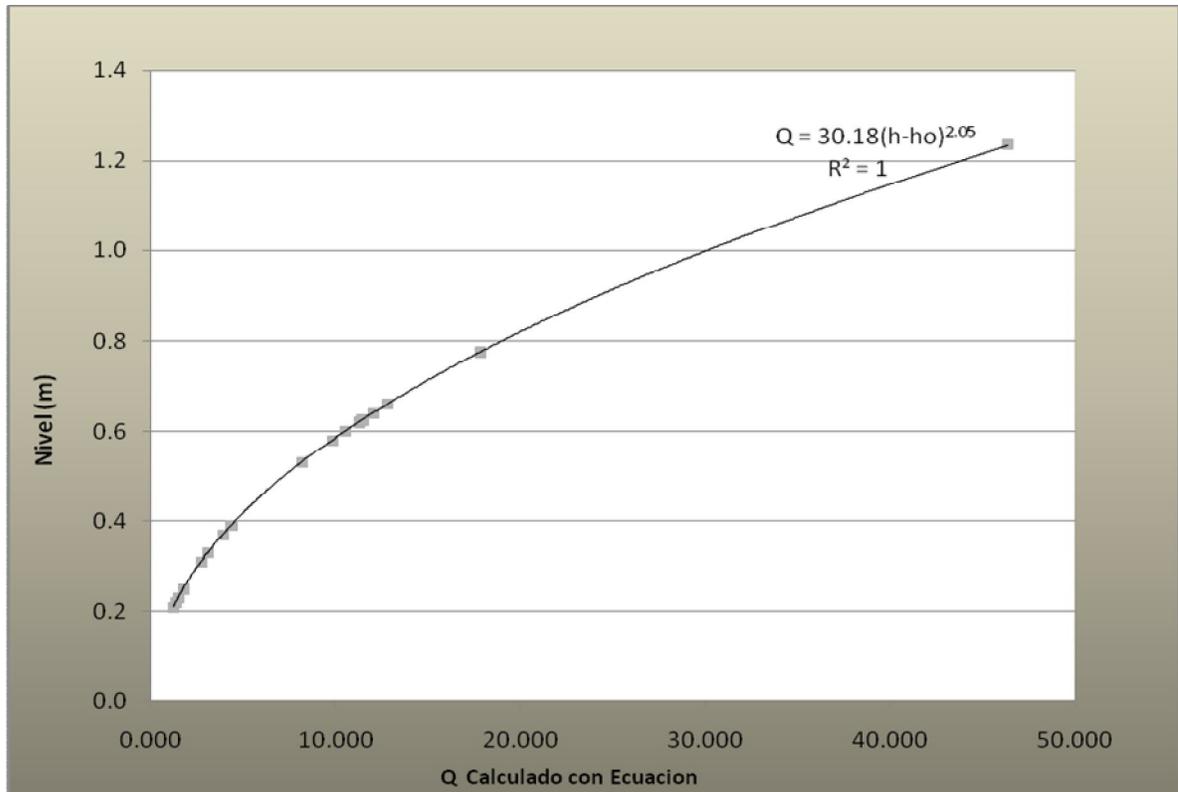


Figura 30. Curva de Descarga Estación Las Lechuzas.

6.2.6. Curva analítica de primer tipo para época seca y lluviosa

En el caso de la curva analítica de primer tipo, se utiliza una misma ecuación independiente de la época del año, a no ser que los encargados de la obtención de estas ecuaciones realicen la validación de estas para distintos periodos, pero en muchos casos se utiliza la misma ecuación para ambas épocas por lo que a continuación se realiza el análisis con la ecuación de la curva de descarga característica para la estación.

En las Tablas 6.22 y 6.23 se presentan los valores de Q obtenidos por medio de este método para ambas épocas.

Fecha de Aforo	Nivel Escala (m)	Caudal Aforo (m3/s)	Caudal $Q = k^*(h-h_0)^z$ (m3/s)
23-10-07	0.210	1.426	1.207
22-03-05	0.220	1.085	1.329
05-03-04	0.230	1.447	1.457
27-02-06	0.230	1.334	1.457
07-03-02	0.250	1.269	1.731
19-02-03	0.250	1.099	1.731
07-12-05	0.310	2.052	2.699
21-11-03	0.330	2.664	3.071
24-10-02	0.370	2.403	3.888
11-10-02	0.640	8.284	12.012
07-03-02	0.660	1.231	12.796
22-10-07	1.235	41.343	46.365

Tabla 6. 22. Caudales generados a partir de la ecuación de la curva de descarga estación Las Lechuzas época seca

Fecha de Aforo	Nivel Escala (m)	Caudal Aforo (m3/s)	Caudal $Q = k^*(h-h_0)^z$ (m3/s)
23-10-07	0.210	1.426	1.207
24-10-02	0.370	2.403	3.888
03-08-05	0.390	8.399	4.333
07-09-04	0.530	6.561	8.149
12-09-02	0.580	7.071	9.810
21-08-03	0.600	6.661	10.519
09-06-05	0.600	8.169	10.519
19-06-07	0.620	9.664	11.252
07-08-07	0.625	9.858	11.440
11-10-02	0.640	8.284	12.012
12-07-04	0.775	20.065	17.803
22-10-07	1.235	41.343	46.365

Tabla 6. 23. Caudales generados a partir de la ecuación de la curva de descarga estación Las Lechuzas época lluviosa

En las Figura 31 y 32 se presentan las curvas de Descarga obtenida para la estación Las Lechuzas tanto para la época seca como la época lluviosa, considerando el comportamiento y los aforos presentados anteriormente.

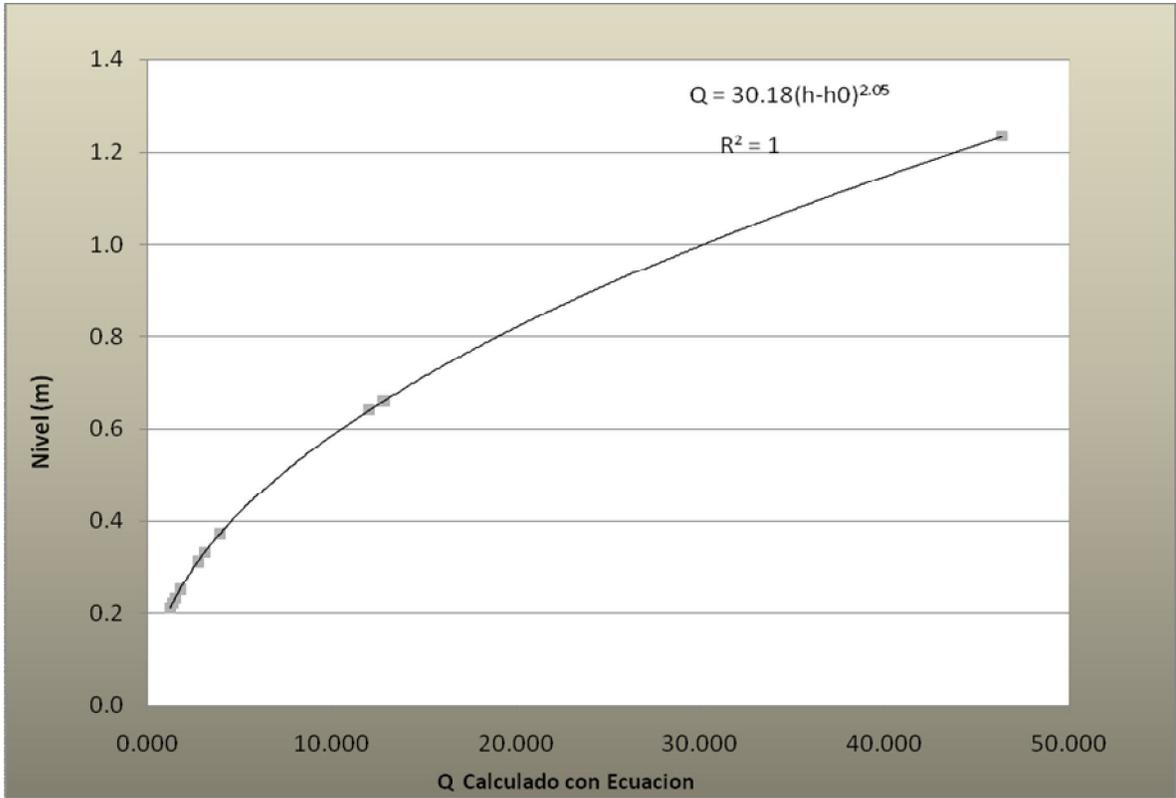


Figura 31. Curva de Descarga Estación Las Lechuzas época seca.

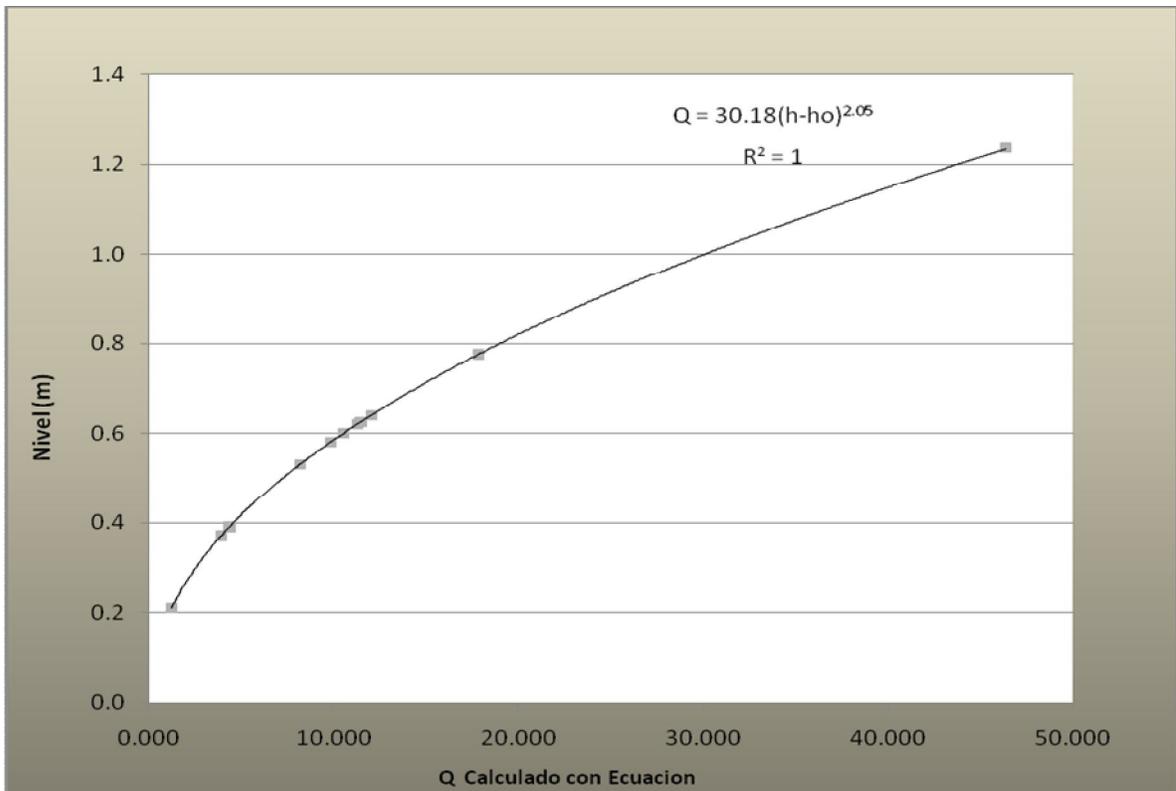


Figura 32. Curva de Descarga Estación Las Lechuzas época lluviosa.

6.2.7. Comparación de caudales generados por los tres métodos en la estación Las Lechuzas.

En la Tabla 6.24 se presentan los valores de los caudales generados en los tres métodos desarrollados anteriormente junto con el grafico de comparación entre estos y el caudal aforado para la estación.

Fecha de Aforo	Nivel Escala (m)	Caudal Aforo (m3/s)	Caudal $Q = k^z(h-h_0)^z$ (m3/s)	Q calculado A x V	Q calculado con Manning (n = 0.121)
23-10-07	0.210	1.426	1.207	1.614	1.703
22-03-05	0.220	1.085	1.329	0.952	1.796
05-03-04	0.230	1.447	1.457	1.316	2.005
27-02-06	0.230	1.334	1.457	1.459	1.729
07-03-02	0.250	1.269	1.731	1.614	2.671
19-02-03	0.250	1.099	1.731	1.965	1.862
07-12-05	0.310	2.052	2.699	1.872	2.051
21-11-03	0.330	2.664	3.071	2.267	2.411
24-10-02	0.370	2.403	3.888	4.028	3.457
03-08-05	0.390	8.399	4.333	4.028	3.374
07-09-04	0.530	6.561	8.149	6.495	3.921
12-09-02	0.580	7.071	9.810	5.144	4.180
09-06-05	0.600	8.169	10.519	5.144	3.986
21-08-03	0.600	6.661	10.519	8.117	4.666
19-06-07	0.620	9.664	11.252	7.270	4.819
07-08-07	0.625	9.858	11.440	4.942	3.814
11-10-02	0.640	8.284	12.012	10.767	4.655
07-03-02	0.660	1.231	12.796	2.487	3.130
12-07-04	0.775	20.065	17.803	14.533	5.451
22-10-07	1.235	41.343	46.365	66.625	12.578

Tabla 6. 24. Caudales generados por los tres métodos para la estación Las Lechuzas.

Por medio del grafico presentado en la Figura 33. se realiza la comparación de los tres métodos utilizados para poderse obtenerse un análisis de las tendencias en los valores de los caudales por medio grafico.

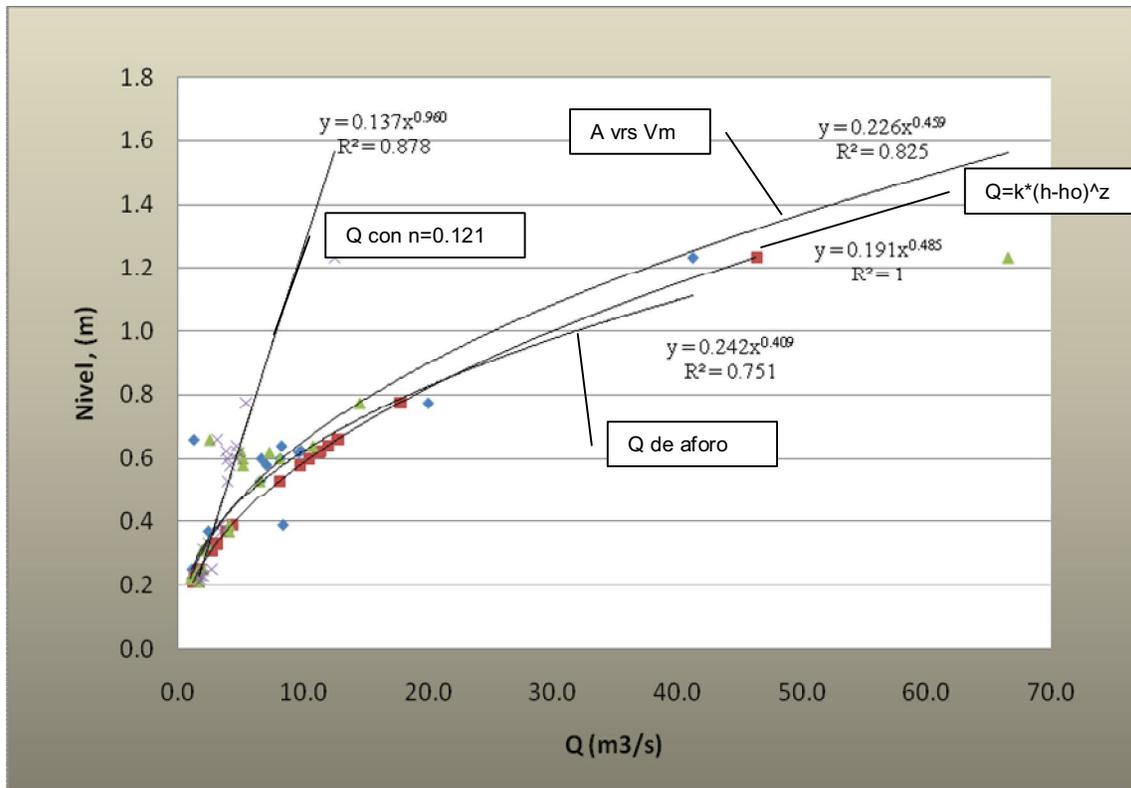


Figura 33. Grafico de comparación entre los caudales generados y los caudales de aforo estación Las Lechuzas.

Para la estación Las Lechuzas se observa que la tendencia de los valores de caudales obtenidos por medio de Manning presenta un comportamiento más alejado respecto a los otros métodos desarrollados, a diferencia que en el caso de la estación Las Cruces el método de la ecuación de la curva de descarga presenta una tendencia más similar al de los valores de los caudales reales obtenidos por medio de los datos de aforos.

En este caso los coeficientes de correlación obtenidos son altos, aunque como en el caso de la estación Las Cruces el objetivo de las líneas de tendencia es la de observar gráficamente el comportamiento de los valores generados por los tres métodos respecto a los valores de los caudales reales

6.2.8. Comparación de caudales generados por los tres métodos en la estación Las Cruces para época seca y lluviosa.

En la Tabla 6.25 y 6.26 se presentan los valores de los caudales generados en los tres métodos desarrollados anteriormente junto con el gráfico de comparación entre estos y el caudal aforado para la estación separados para las épocas seca y lluviosa.

Fecha de Aforo	Nivel Escala (m)	Caudal Aforo (m3/s)	Caudal $Q = k^*(h-h_0)^z$ (m3/s)	Q calculado A x V	Q calculado con Manning (n = 0.162)
23-10-07	0.210	1.426	1.207	1.393	1.271
22-03-05	0.220	1.085	1.329	0.873	1.340
05-03-04	0.230	1.447	1.457	1.162	1.496
27-02-06	0.230	1.334	1.457	1.273	1.290
07-03-02	0.250	1.269	1.731	1.393	1.993
19-02-03	0.250	1.099	1.731	1.657	1.389
07-12-05	0.310	2.052	2.699	1.588	1.530
21-11-03	0.330	2.664	3.071	1.880	1.799
24-10-02	0.370	2.403	3.888	3.125	2.580
11-10-02	0.640	8.284	12.012	7.457	3.473
07-03-02	0.660	1.231	12.796	2.041	2.335
22-10-07	1.235	41.343	46.365	37.369	9.385

Tabla 6. 25. Caudales generados por los tres métodos para la estación Las Lechuzas época seca.

Fecha de Aforo	Nivel Escala (m)	Caudal Aforo (m3/s)	Caudal $Q = k^*(h-h_0)^z$ (m3/s)	Q calculado A x V	Q calculado con Manning (n = 0.075)
23-10-07	0.210	1.426	1.207	2.206	2.756
24-10-02	0.370	2.403	3.888	4.817	5.594
03-08-05	0.390	8.399	4.333	4.817	5.460
07-09-04	0.530	6.561	8.149	7.244	6.344
12-09-02	0.580	7.071	9.810	5.936	6.762
21-08-03	0.600	6.661	10.519	5.936	6.449
09-06-05	0.600	8.169	10.519	8.763	7.550
19-06-07	0.620	9.664	11.252	7.976	7.797
07-08-07	0.625	9.858	11.440	5.737	6.171
11-10-02	0.640	8.284	12.012	11.154	7.532
12-07-04	0.775	20.065	17.803	14.411	8.820
22-10-07	1.235	41.343	46.365	52.897	20.351

Tabla 6. 26. Caudales generados por los tres métodos para la estación Las Lechuzas época lluviosa.

A continuación se presentan el análisis grafico de las tendencias de los valores obtenidos de caudales por medio de los métodos desarrollados para las épocas seca y lluviosa para la estación Las Lechuzas.

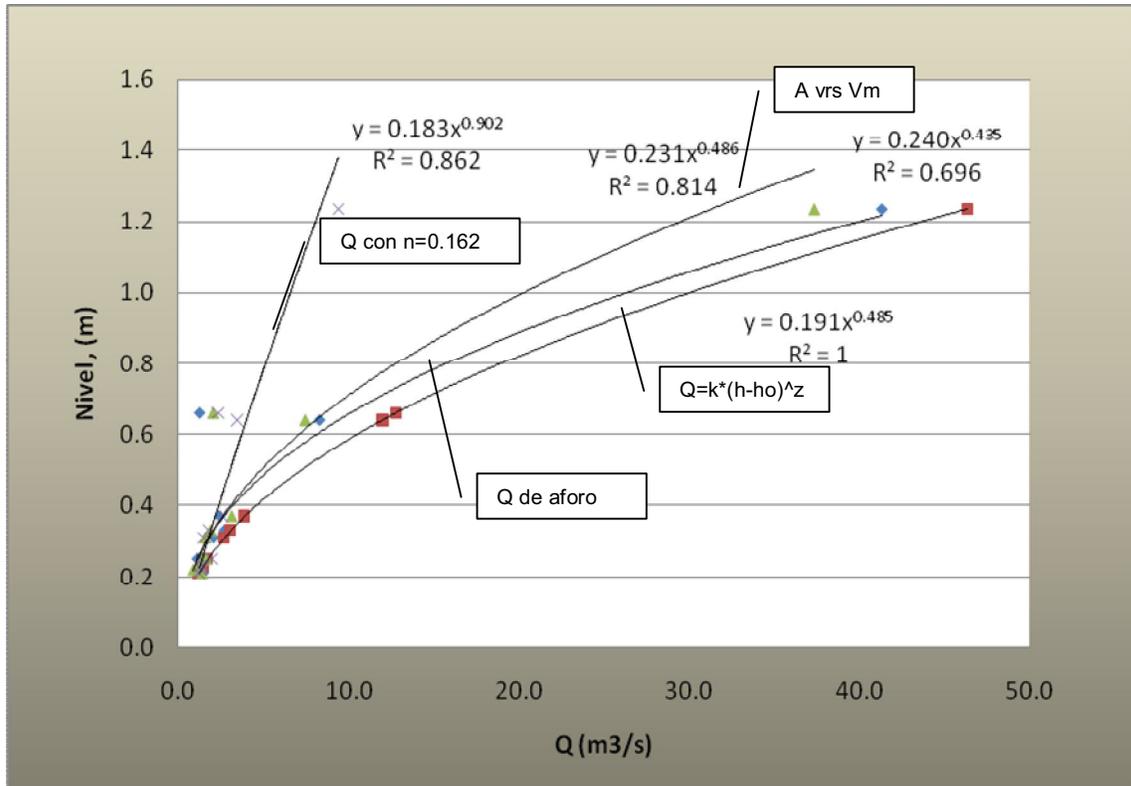


Figura 34. Grafico de comparación entre los caudales generados y los caudales de aforo época seca estación Las Lechuzas.

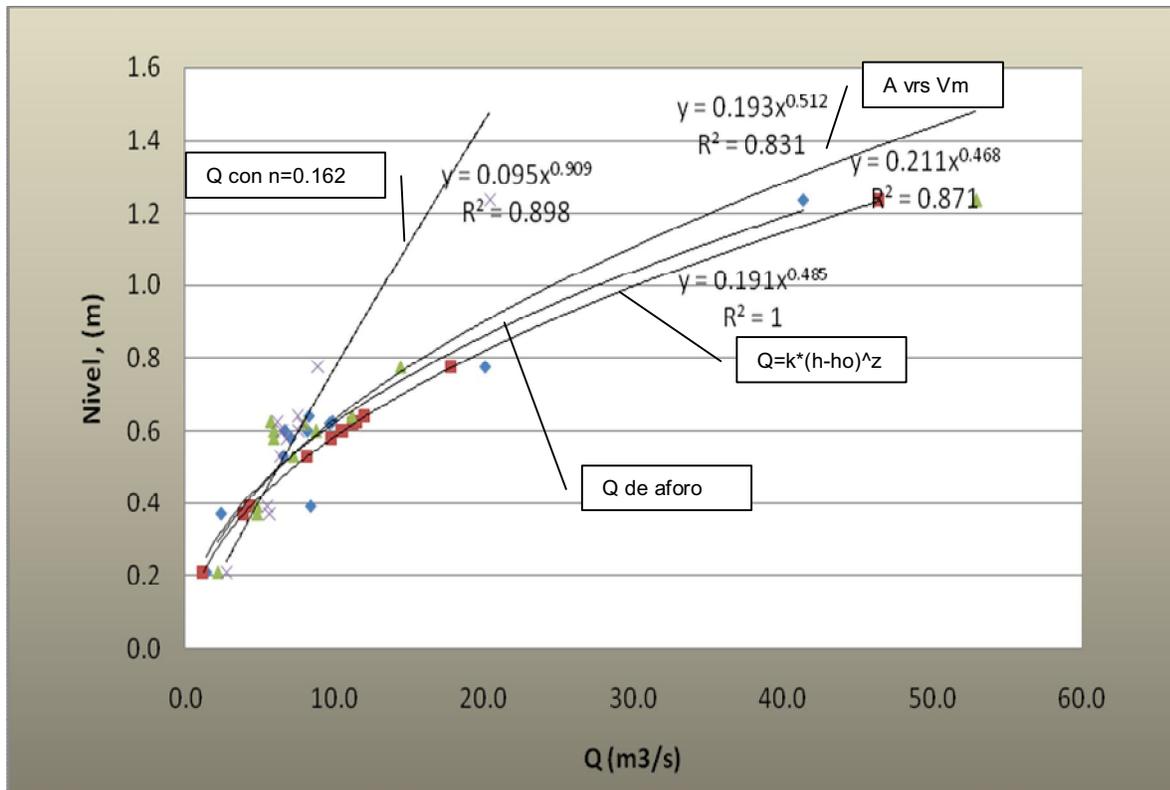


Figura 35. Grafico de comparación entre los caudales generados y los caudales de aforo época lluviosa estación Las Lechuzas.

Con respecto al comportamiento de los valores de los caudales para cada época en la estación Las Lechuzas se observa que al separar la épocas, poseen la misma tendencias por medio de los distintos métodos siendo el de Manning el que da la tendencia más alejada a los valores reales obtenidos por medio de los datos de aforo, es de notar que los valores de caudales son mas similares a un nivel menor de 0.5 m.

7. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

7.1. CONCLUSIONES

- ✓ A través del método de la fórmula de Manning se obtuvo que los valores característicos para los coeficientes de rugosidad “n” son de 0.04 para la estación de Las Cruces el cual presenta característica de lecho con material arenoso con canto rodado de diámetros bajos y 0.121 para la estación Las Lechuzas la cual presenta características de lecho con material rocoso.
- ✓ Los valores anteriores de “n” son coherentes a los tipos de materiales del los lechos de las secciones en estudio, en donde para la estación de Las Cruces en el cual se encuentra en el lecho material areno-limoso, tiene un coeficiente de rugosidad “n” más bajo al obtenido en la estación Las Lechuzas donde se encuentra un lecho de características rocosa con cantos rodados, por lo que su valor de coeficiente de rugosidad es mayor.
- ✓ Los caudales obtenidos para la estación Las Cruces por medio de la ecuación de Manning y el valor obtenido de “n” tienen una gran confianza de uso debido a que la tendencia y valores de estos son muy similares a los caudales reales de los aforos.
- ✓ Con respecto a las comparaciones realizadas por los distintos métodos, se concluye para la estación Las Cruces que los métodos de Manning y de Área – Velocidad tienen un mejor comportamiento respecto a los caudales reales de aforo, no así el método de la ecuación de curva de descarga característica de la estación, por lo que se debe de revisar los parámetros de la ecuación de la curva de descarga utilizada en este estudio.
- ✓ En el caso de la estación Las Lechuzas, los tres métodos presentan comportamientos similares respecto a los caudales reales hasta un límite de nivel de 0.5 m, con respecto al 0 de la escala de la estación.

- ✓ Por medio de la metodología analítica propuesta en este estudio se llega a la conclusión que la ecuación de Manning es aplicable para la obtención de caudales en la estación Las Cruces en el río Ostua.

7.2. RECOMENDACIONES

- ✓ Se recomienda la realización de aforos para obtenerse datos más recientes que permitan determinar las características geométricas y geomorfológicas actuales del sitio.
- ✓ Se debe de ampliar la selección de sitios de estudio en donde se analicen las características y la obtención de valores de rugosidad “n” para distintos tipos de lechos, para tener una mejor gama de criterios de valores para la región centroamericana.
- ✓ Para tener una mayor confianza en el estudio se deben de realizar aforos en las estación donde se cumplan las siguientes características: 1). Se deben de realizar las mediciones por los mismos aforadores, 2) en el momento de futuras investigaciones, los aforos se deben de realizar apoyado por el investigador, 3) realizar aforos en periodos de tiempo cortos, 4) realizar una análisis de datos por años, 5) buscar secciones en donde no influya mucho el cambio en las características geométricas del lecho.
- ✓ Debido a que en el presente estudio se analizaron los datos de dos estaciones, se recomienda realizar la metodología propuesta para un mayor número de estaciones, para obtener así una mayor confiabilidad en la tendencias de los valores característicos de rugosidad para los distintos tipos de lecho en la región.
- ✓ Como parte de otra investigación se recomienda realizar un modelo físico, en el cual se utilice un canal rectangular en donde se coloque un lecho rocoso y así medir los caudales a distintos niveles del canal, para así realizar el

análisis de la variación de los coeficientes de rugosidad de Manning respecto aumenta el nivel del canal.

BIBLIOGRAFIA

Ven Te Chow. Ph. D. HIDRAULICA DE CANALES ABIERTOS. Editorial Mc Graw Hill. 667 p.

Arriagada A. 1966; La Curva de Descarga y su Extrapelación.

Neira H. 1969; Curso Práctico de Hidrología, Publicación No 51 del Proyecto Hidrometeorológico Centroamericano.

Franco A. y Neira H. 1966; Normas para la Elaboración de Curvas de Calibración en Cauces Aluviales. CAR, Bogota, Colombia.

Ruberto, Alejandro R.; Carreras, Juan M; Deppettris, Carlos A “Estudio Exploratorio de la sensibilidad del coeficiente de rugosidad en un río de llanura”. Universidad Nacional Del Nordeste, Argentina, 2003.

Ramirez, C. A y García, J. L, “Estudios de caracterización y simulación del río Cauca para fines de manejo y aprovechamiento”. Artículo científico de la Universidad del Valle, Colombia.

La FAO. Medición sobre el terreno de la erosión del suelo y la escorrentía. Consultado el 17 de mayo de 2010. Disponible en: <http://www.fao.org/docrep/T0848S/t0848s06.htm>

INGENIERIA UC. Calculo del coeficiente de rugosidad “n” de manning en los grandes rios de venezuela (en línea). Universidad de Carabobo, Venezuela. Consultado el 17 de mayo de 2010. Disponible en <http://redalyc.uaemex.mx/redalyc/pdf/707/70770202.pdf>

ANEXOS

ANEXO 1

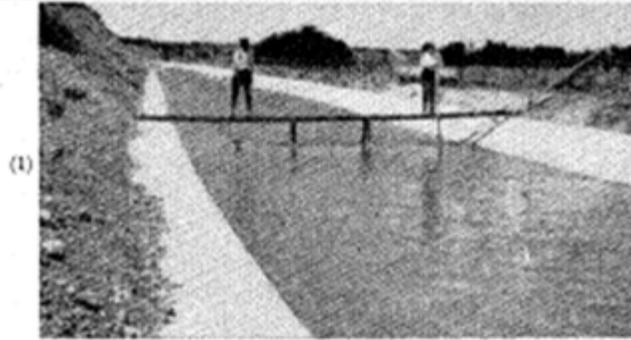
DATOS DE AFOROS DE LAS ESTACIONES EN ESTUDIO

DATOS DE AFOROS ESTACION LAS CRUCES															
Estacion	Cuenca	Fecha	Escala		Area	Perim mojado	Ancho	Prof		Radio Hidráulico	Prof. Máxima	Ho	Velocidad		Factor
			Inicio	Final				Escala Promedio	media				Hidráulico	Media	
Las Cruces	1.17	07-03-02	0.570	0.570	4.225	16.132	16.070	0.263	0.262	0.400	0.170	0.321	1.355	0.783	
Las Cruces	1.17	07-03-02	0.570	0.570	4.125	16.126	16.070	0.257	0.256	0.390	0.180	0.333	1.372	0.825	
Las Cruces	1.17	04-07-02	0.850	0.850	7.845	20.689	20.500	0.383	0.379	0.700	0.150	0.469	3.680	0.895	
Las Cruces	1.17	12-09-02	1.610	1.610	22.226	25.062	24.580	0.904	0.887	1.170	0.440	0.779	17.322	0.844	
Las Cruces	1.17	11-10-02	0.990	0.960	18.783	24.470	24.000	0.783	0.768	1.200	-0.225	0.712	13.365	0.849	
Las Cruces	1.17	24-10-02	0.820	0.820	9.702	29.097	28.880	0.336	0.333	0.730	0.090	0.630	6.115	1.311	
Las Cruces	1.17	14-11-02	0.820	0.820	9.920	23.560	23.340	0.425	0.421	0.830	-0.010	0.635	6.301	1.131	
Las Cruces	1.17	18-02-03	0.450	0.450	3.919	10.830	10.680	0.367	0.362	0.620	-0.170	0.345	1.353	0.680	
Las Cruces	1.17	29-05-03	0.810	0.800	10.249	23.067	22.870	0.448	0.444	1.000	-0.195	0.507	5.194	0.870	
Las Cruces	1.17	21-08-03	1.020	1.020	18.816	24.256	23.930	0.786	0.776	1.050	-0.030	0.631	11.866	0.747	
Las Cruces	1.17	21-11-03	0.550	0.550	11.522	22.622	22.440	0.513	0.509	0.900	-0.350	0.378	4.351	0.592	
Las Cruces	1.17	06-03-04	0.360	0.360	6.158	19.237	19.130	0.322	0.320	0.520	-0.160	0.301	1.854	0.643	
Las Cruces	1.17	12-07-04	1.290	1.270	35.651	25.748	24.410	1.461	1.385	2.020	-0.740	0.750	26.746	0.604	
Las Cruces	1.17	07-09-04	0.780	0.770	25.252	25.088	24.390	1.035	1.007	1.590	-0.815	0.452	11.426	0.451	
Las Cruces	1.17	07-12-04	0.320	0.330	10.393	21.829	21.690	0.479	0.476	0.740	-0.415	0.198	2.062	0.325	
Las Cruces	1.17	22-03-05	0.200	0.200	8.048	20.957	20.860	0.386	0.384	0.660	-0.460	0.120	0.966	0.227	
Las Cruces	1.17	06-12-05	0.290	0.290	8.476	18.255	18.060	0.469	0.464	0.950	-0.660	0.546	4.630	0.911	
Las Cruces	1.17	21-08-06	0.870	0.870	34.275	28.388	28.000	1.224	1.207	2.200	-1.330	1.161	39.783	1.024	
Las Cruces	1.17	27-11-06	0.190	0.190	15.330	21.770	21.000	0.730	0.704	1.600	-1.410	0.746	11.429	0.942	
Las Cruces	1.17	19-06-07	0.600	0.580	23.041	25.213	24.230	0.951	0.914	2.150	-1.560	0.913	21.037	0.970	
Las Cruces	1.17	08-08-07	0.320	0.320	19.479	23.985	23.220	0.839	0.812	1.880	-1.560	0.754	14.684	0.866	
Las Cruces	1.17	05-06-08	0.160	0.150	11.161	22.591	22.440	0.497	0.494	0.750	-0.595	1.177	13.131	1.883	

DATOS DE AFORO ESTACION LAS LECHUZAS															
Estacion	Cuenca	Fecha	Escala Inicio	Escala Final	Escala Promedio	Area	Perim mojado	Ancho	Prof media	Radio Hidráulico	Prof. Máxima	Ho	Velocidad Media	Caudal	Factor Hidráulico
Las Lechuzas	1.17	07-03-02	0.250	0.250	0.250	13.597	21.908	21.710	0.626	0.621	1.000	-0.750	0.093	1.269	0.128
Las Lechuzas	1.17	07-03-02	0.660	0.660	0.660	15.020	22.160	22.000	0.683	0.678	1.090	-0.430	0.082	1.231	0.106
Las Lechuzas	1.17	12-09-02	0.580	0.580	0.580	18.846	25.322	25.060	0.752	0.744	1.260	-0.680	0.375	7.071	0.457
Las Lechuzas	1.17	11-10-02	0.640	0.640	0.640	22.575	33.830	33.500	0.674	0.667	1.460	-0.820	0.367	8.284	0.481
Las Lechuzas	1.17	24-10-02	0.370	0.370	0.370	16.353	23.605	23.300	0.702	0.693	1.200	-0.830	0.147	2.403	0.188
Las Lechuzas	1.17	19-02-03	0.250	0.250	0.250	10.109	17.940	17.780	0.569	0.563	1.040	-0.790	0.109	1.099	0.159
Las Lechuzas	1.17	29-05-03	0.400	0.400	0.400	12.432	19.531	19.270	0.645	0.637	1.270	-0.870	0.224	2.782	0.302
Las Lechuzas	1.17	21-08-03	0.600	0.600	0.600	2.895	7.676	7.500	0.386	0.377	0.800	-0.200	0.013	0.038	0.025
Las Lechuzas	1.17	21-08-03	0.600	0.600	0.600	17.420	22.332	22.000	0.792	0.780	1.260	-0.660	0.382	6.661	0.451
Las Lechuzas	1.17	21-11-03	0.330	0.330	0.330	12.271	19.776	19.570	0.627	0.621	1.070	-0.740	0.217	2.664	0.298
Las Lechuzas	1.17	05-03-04	0.230	0.230	0.230	10.693	18.481	18.340	0.583	0.579	0.960	-0.730	0.135	1.447	0.195
Las Lechuzas	1.17	12-07-04	0.780	0.770	0.775	25.344	35.653	35.110	0.722	0.711	1.550	-0.775	0.792	20.065	0.994
Las Lechuzas	1.17	07-09-04	0.530	0.530	0.530	16.880	21.157	20.840	0.810	0.798	1.320	-0.790	0.389	6.561	0.452
Las Lechuzas	1.17	22-03-05	0.220	0.220	0.220	9.787	17.471	17.330	0.565	0.560	0.900	-0.680	0.111	1.085	0.163
Las Lechuzas	1.17	09-06-05	0.600	0.600	0.600	19.568	23.581	23.200	0.843	0.830	1.380	-0.780	0.417	8.169	0.473
Las Lechuzas	1.17	03-08-05	0.390	0.390	0.390	15.343	20.872	20.570	0.746	0.735	1.200	-0.810	0.547	8.399	0.672
Las Lechuzas	1.17	07-12-05	0.310	0.310	0.310	11.327	20.633	20.480	0.553	0.549	1.030	-0.720	0.181	2.052	0.270
Las Lechuzas	1.17	27-02-06	0.230	0.230	0.230	9.932	19.181	19.040	0.522	0.518	0.980	-0.750	0.134	1.334	0.208
Las Lechuzas	1.17	21-08-06	0.710	0.700	0.705	27.380	36.994	35.700	0.767	0.740	1.340	-0.635	0.447	12.230	0.546
Las Lechuzas	1.17	19-06-07	0.620	0.620	0.620	23.465	35.379	34.500	0.680	0.663	1.350	-0.730	0.412	9.664	0.542
Las Lechuzas	1.17	07-08-07	0.630	0.620	0.625	20.512	35.895	35.560	0.577	0.571	1.250	-0.625	0.481	9.858	0.698
Las Lechuzas	1.17	22-10-07	1.240	1.230	1.235	42.083	36.137	34.650	1.215	1.165	2.100	-0.865	0.982	41.343	0.888
Las Lechuzas	1.17	21-02-08	0.210	0.210	0.210	9.316	16.723	16.340	0.570	0.557	1.000	-0.790	0.153	1.426	0.226
Las Lechuzas	1.17	30-09-08	1.970	1.930	1.950	66.192	40.898	38.350	1.726	1.618	2.800	-0.850	1.355	89.658	0.983
Las Lechuzas	1.17	29-10-08	0.610	0.600	0.605	16.134	20.785	20.500	0.787	0.776	1.310	-0.705	0.632	10.201	0.749

ANEXO 2

Ilustraciones de canales con diferentes rugosidades



1. $n = 0.012$. Canal revestido con placas de concreto con juntas de cemento lisas y una superficie muy lisa, terminada a mano con llana y con lechada de cemento sobre la base de concreto.

2. $n = 0.014$. Canal de concreto vaciado por detrás de una plataforma móvil para nivelación y pulimento superficial.

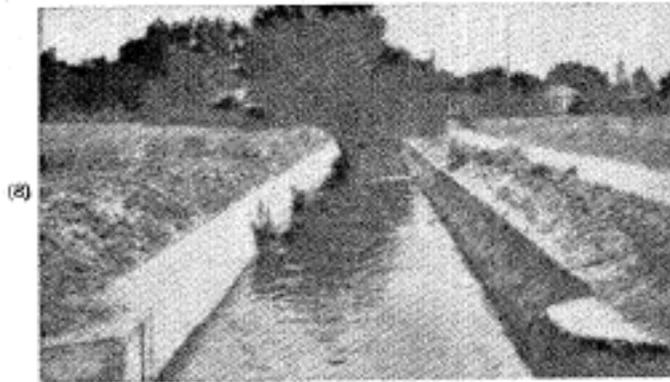
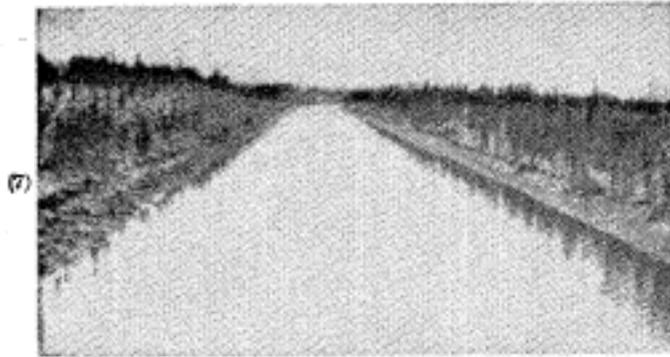
3. $n = 0.016$. Zanja o cuneta, revestida en concreto, recta y uniforme, con fondo ligeramente curvo, lados y fondo recubiertos con un depósito rugoso, el cual incrementa el valor de n .



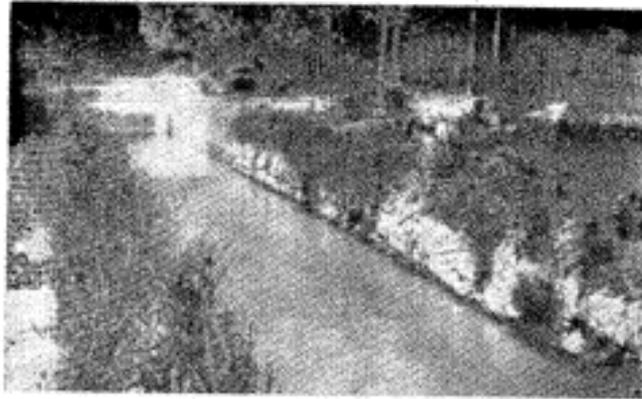
4. $n = 0.018$. Revestimiento de concreto lanzado sin tratamiento para alisado. Superficie cubierta por algas finas y fondo con dunas de arena arrastrada.

5. $n = 0.018$. Canal en tierra excavado en margas arcillosas, con depósito de arenas limpias en el medio y lodo limoso cerca de los lados.

6. $n = 0.020$. Recubrimiento de concreto hecho en un corte tosco en roca de lava, limpio, muy rugoso y excavado profundamente.



7. $n = 0.020$. Canal de irrigación, recto, en arena suave muy densa.
8. $n = 0.022$. Revoque o pañete de cemento aplicado directamente a la superficie tratada de un canal en tierra. Con malezas en los lugares dañados y arena suelta en el fondo.
9. $n = 0.024$. Canal excavado en marga arcillosa y limosa. Lecho duro y resbaladizo.



(10)



(11)



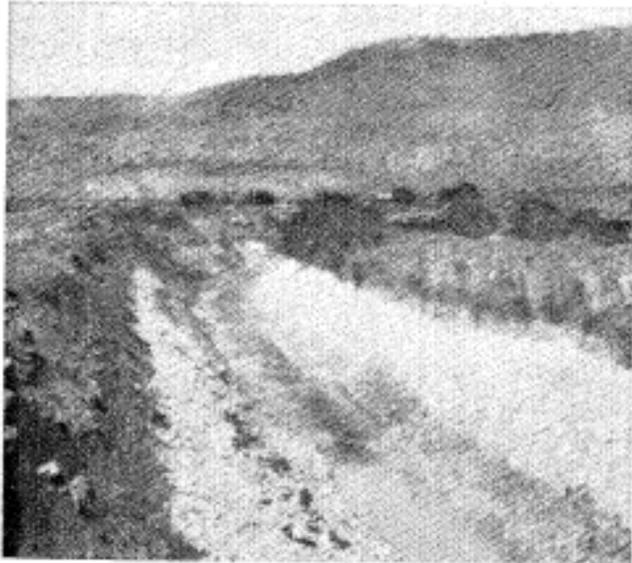
(12)

- 10. $n = 0.024$. Zanja o cuneta revestida en ambos lados y en el fondo con piedra partida acomodada en seco. Fondo bastante irregular, con algunos cantos rodados sueltos.
- 11. $n = 0.026$. Canal excavado a media ladera con la banca superior cubierta por raíces de sauces y la banca inferior con un muro de concreto bien terminado. Fondo cubierto con grava gruesa.
- 12. $n = 0.028$. Fondo del canal en cantos rodados, donde no hay suficiente arcilla en el agua o donde existe una velocidad muy alta, que impide la formación de un lecho liso bien gradado.

(13)



(14)



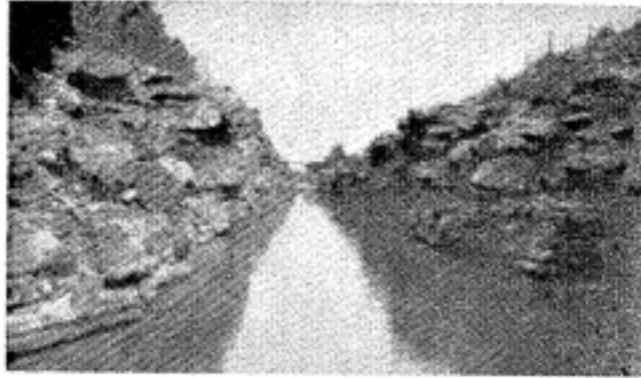
(15)



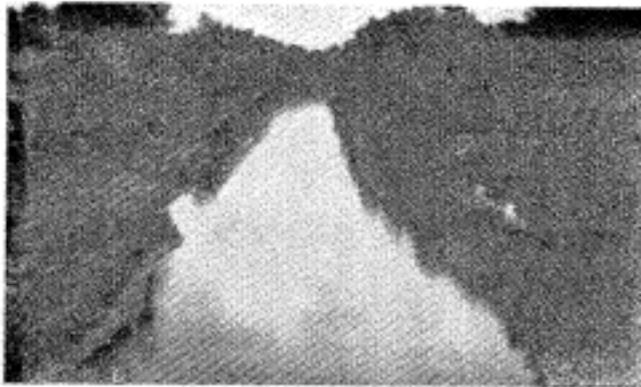
13. $n = 0.029$. Canal en tierra excavado en un suelo de limo aluvial, con depósitos de arena en el fondo y crecimiento de pastos.

14. $n = 0.030$. Canal con lecho de cantos rodados grandes.

15. $n = 0.035$. Canal natural, pendientes laterales algo irregulares; fondo más o menos nivelado, limpio y regular; en arcilla limosa gris clara a marga limosa marrón claro; muy poca variación en la sección transversal.



(16)



(17)



(18)

16. $n = 0.040$. Canal en roca excavado con explosivos.
17. $n = 0.040$. Zanja o cuneta en marga arenosa y arcillosa; pendientes laterales, fondo y sección transversal irregulares; pasto en las pendientes laterales.
18. $n = 0.045$. Canal dragado, pendientes laterales y fondo irregulares; en arcilla negra plástica en la parte superior hasta arcilla amarilla en el fondo, lados cubiertos con pequeños matorrales y arbustos, variaciones pequeñas y graduales en la sección transversal.

(19)



(20)



(21)



19. $n = 0.050$. Canal dragado con pendientes laterales y fondo muy irregulares, en arcilla plástica de color oscuro, con crecimiento de malezas y pastos. Pequeñas variaciones en la sección transversal debidas a variaciones en el tamaño.

20. $n = 0.060$. Cuneta en arcilla limosa pesada; pendientes laterales y fondo irregulares; prácticamente toda la sección llena con crecimientos de árboles grandes, sobre todo sauces y algodoneros. Sección transversal muy uniforme.

21. $n = 0.080$. Canal dragado en arcilla negra resbalosa y en marga arcillolimosa gris, pendientes laterales y fondo irregulares, cubierta con crecimientos densos de matorrales de sauces, algunos en el fondo; el resto de las pendientes laterales cubiertas con malezas y crecimiento escaso de sauces y álamos; algunos depósitos de sedimentos en el fondo.



(22)



(23)



(24)

22. $n = 0.110$. Igual al (21), pero con mucho follaje y cubierto unos 40 pies con vegetación semejante a malezas.

23. $n = 0.125$. Canal natural de crecientes en arena fina media a arcilla fina, sin ninguna pendiente lateral; fondo razonablemente liso y regular con fondos planos ocasionales; variación en la profundidad; árboles maderables prácticamente vírgenes, con muy poco crecimiento de malezas excepto por pequeños parches densos de matorrales y arbustos, algunos troncos y árboles caídos.

24. $n = 0.150$. Río natural en un suelo de arcilla arenosa. Alineamientos muy sinuosos, pendientes laterales irregulares y fondo disperejo. Muchas raíces, árboles y matorrales, troncos largos y otros residuos flotantes sobre el fondo; árboles caen continuamente en el canal debido a la socavación de la banca.

ANEXO 3

Gráficos de tendencias de niveles vrs coeficientes de rugosidad.

Como parte complementaria a los objetivos del estudio se procedió al análisis de las tendencias de los coeficientes de rugosidad respecto a los niveles del agua, con el objetivo de conocer el comportamiento de estos para cada caso analizado.

A continuación se presentan parte de un estudio realizado en la Universidad Nacional Del Nordeste en el 2003 sobre un estudio exploratorio de la sensibilidad del coeficiente de rugosidad en un río de llanura.

El estudio mencionado anteriormente tiene como objetivo la determinación de la sensibilidad respecto de la pendiente hidráulica en la obtención del coeficiente de rugosidad [n] de Manning en un río típico de llanura de la región chaqueña. Como parte de la metodología utilizada desarrollaron un método indirecto de análisis para la determinación del coeficiente de rugosidad n, asumiendo como validos los valores de caudal Q proporcionados por los aforos que se realizaron y obteniendo el valor del coeficiente de rugosidad por medio de la fórmula de Manning, teniendo como parámetro estimado la pendiente hidráulica, y colocándola fija para la realización de los cálculos.

En la figura 36 se presenta la tabla con los valores obtenidos del estudio, con estos valores mostrados se procede a realizar un grafico de los niveles vrs, los coeficientes de rugosidad obtenidos.

Nº	Fecha	Cota del pelo agua (IGM)	Q (m3/s)	Area (m2)	Vel m. (m/s)	Perimetro mojado (m)	Radio hidra.(m)	n [adim] (i=0,00003)	n [adim] (i=0,00007)
1	25/10/1984	47,94	11,60	80,00	0,15	38,40	2,083	0,062	0,094
2	19/11/1984	48,11	12,10	85,79	0,14	38,90	2,205	0,066	0,101
3	13/05/1992	48,14	14,50	86,80	0,17	38,99	2,226	0,056	0,085
4	13/12/1989	48,19	18,60	88,48	0,21	39,15	2,260	0,045	0,069
5	02/05/1985	48,23	24,80	89,83	0,28	39,29	2,286	0,034	0,053
6	09/04/1985	48,29	22,70	91,85	0,25	39,49	2,326	0,039	0,059
7	24/04/1984	48,30	27,70	92,19	0,30	39,64	2,326	0,032	0,049
8	11/07/1983	48,32	23,20	92,86	0,25	39,71	2,338	0,039	0,059
9	15/07/1983	48,32	20,30	92,86	0,22	39,71	2,338	0,044	0,067
10	16/05/1984	48,33	26,04	93,20	0,28	39,75	2,345	0,035	0,053
11	26/02/1985	48,35	28,90	93,87	0,31	39,82	2,357	0,032	0,048

Figura 36 Tabla de datos obtenidos del estudio exploratorio de la sensibilidad del coeficiente de rugosidad, argentina.

Como se menciona anteriormente se procedió a graficar los niveles vrs los coeficientes de rugosidad obteniéndose los siguientes gráficos.

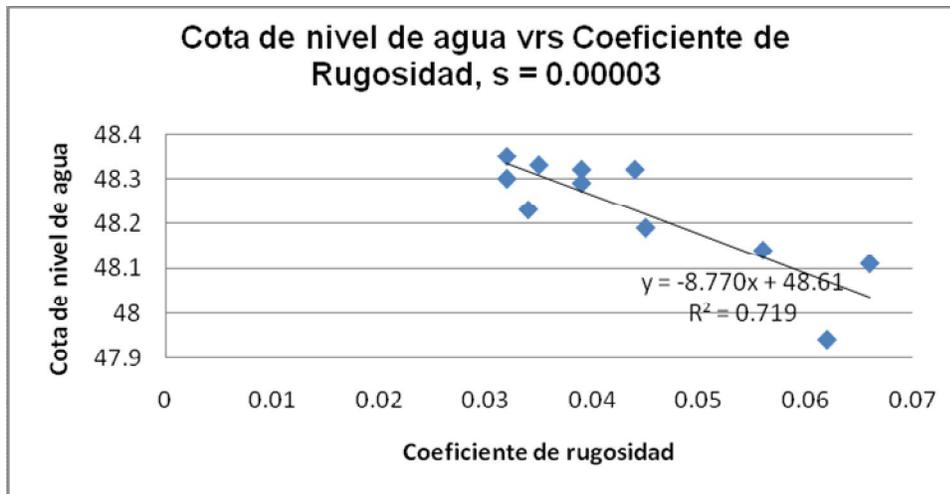


Figura 37 Grafico de cotas de nivel vrs coeficiente de rugosidad con s = 0.00003

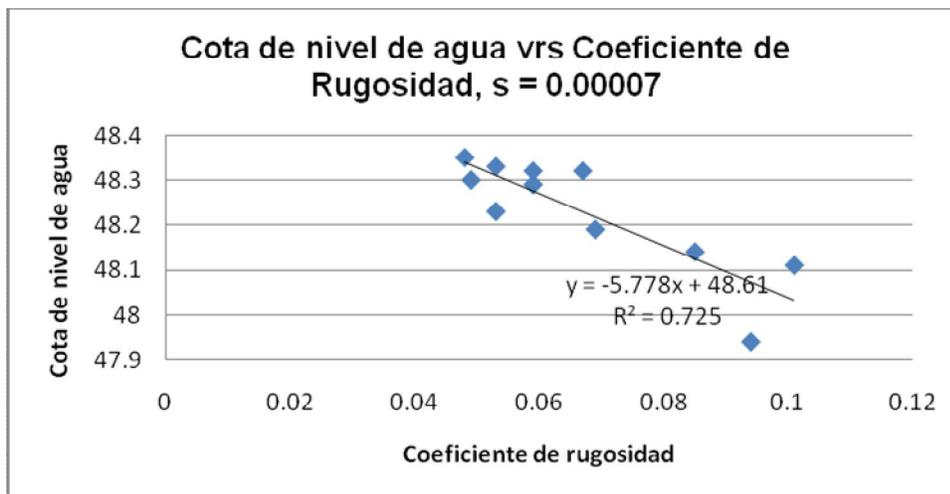


Figura 38 Grafico de cotas de nivel vrs coeficiente de rugosidad con s = 0.00007

Como se ve en los gráficos anteriores la tendencia de los valores de los coeficientes de rugosidad es disminuir a un mayor nivel de cota del nivel del agua en ambos casos.

En la figura 39 se presenta la sección transversal del río analizado en este estudio, en esta figura se puede observar que según los niveles a los que se trabajó el estudio, no se analizó el efecto de los coeficientes de rugosidad cuando se presentan en planicie de inundación.

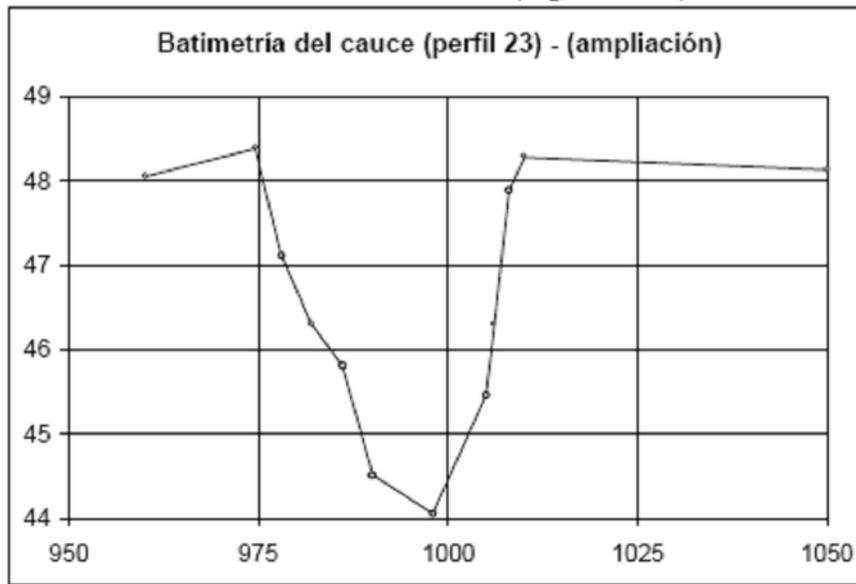


Figura 39. Sección de análisis río Salado, Argentina (fuente: <http://www1.unne.edu.ar/cyt/2003/comunicaciones/07-Tecnologicas/T-046.pdf>)

Como otro complemento a este análisis es el un artículo científico que se desarrolló en la Universidad del Valle de Colombia titulado “Estudios de Caracterización y Simulación del río Cauca para fines de manejo y aprovechamiento” en el cual se menciona que las relaciones halladas entre los parámetros hidráulicos y geométricos de caudal, área, profundidad hidráulica, velocidad de la corriente y los niveles de agua presentan ajustes bastante aceptables en casi todas las estaciones hidrométricas pero que las relaciones deducidas entre los coeficientes de rugosidad de Chezy y los niveles de agua no presentan correlaciones aceptables, sin embargo el rango de valores del factor de Chezy estaba dentro de los rangos comunes para las características del río en estudio.

La información presentada anteriormente servirá de base para el análisis del comportamiento de los niveles del agua respecto a los coeficientes de rugosidad que se presentan en este estudio.

A continuación se presentan los gráficos desarrollados para las estaciones de análisis.

GRAFICOS DE TENDENCIAS DE NIVEL VRS RUGOSIDAD PARA LA ESTACION LAS CRUCES

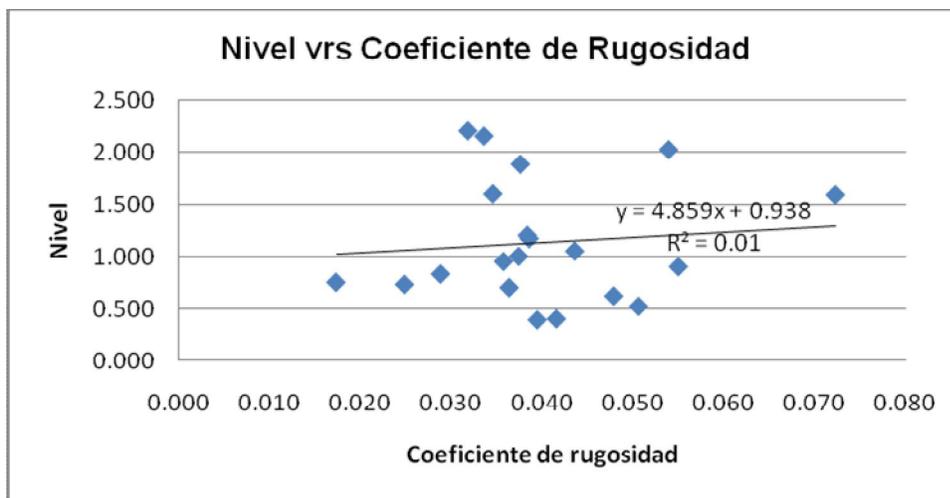


Figura 40. Grafico de la tendencia general de los niveles vrs coeficiente de rugosidad para la estación Las Cruces

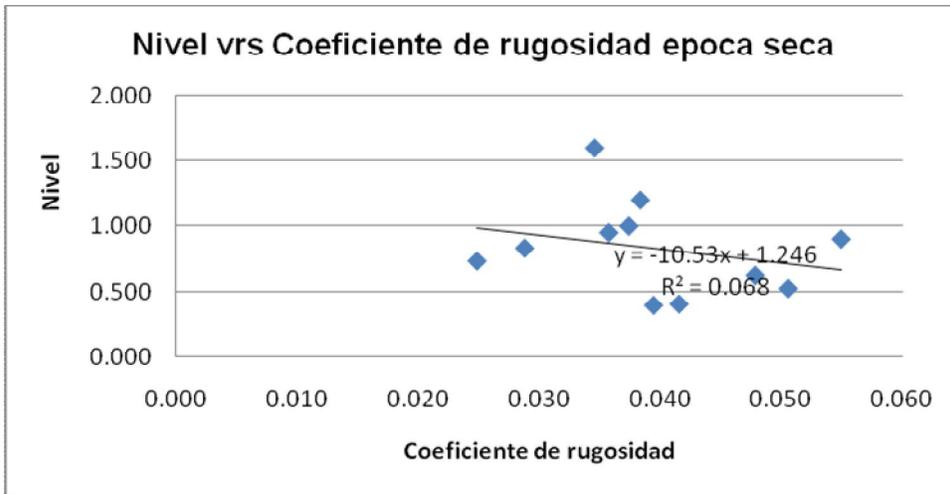


Figura 41. Grafico de la tendencia general de los niveles vrs coeficiente de rugosidad para la estación Las Cruces, época seca

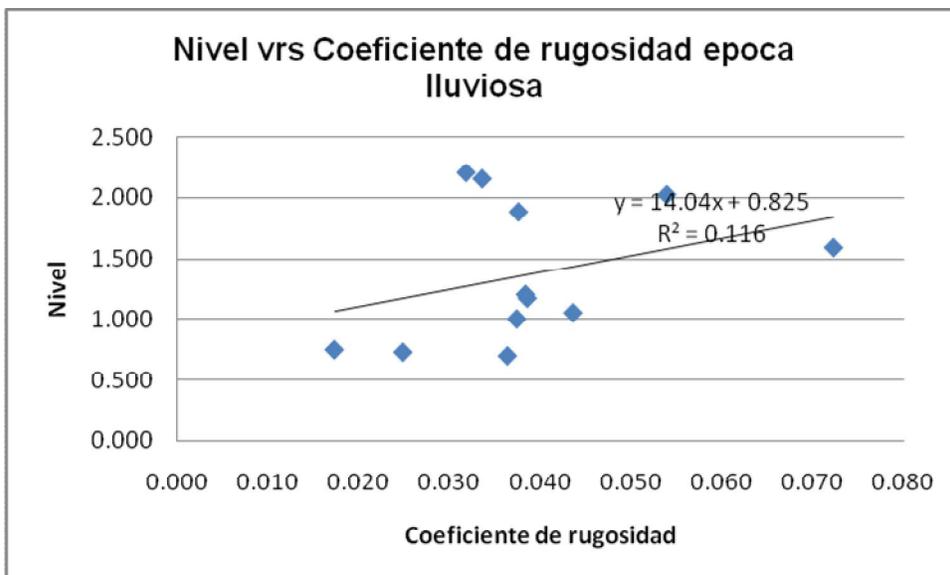


Figura 42. Grafico de la tendencia general de los niveles vrs coeficiente de rugosidad para la estación Las Cruces, época lluviosa.

Como se observa en las ilustraciones anteriores no se puede definir una tendencia clara entre los valores de los niveles de agua y los coeficientes de rugosidad, debido a que, como se observa en la ilustración 5, la leve tendencia que presentan los valores de los coeficientes de rugosidad en época seca es de disminuir a medida aumenta el valor del nivel, pero debido a que la correlación que existe entre estos valores es muy baja no se puede concluir al respecto, además en la época

lluviosa la tendencia de los valores es de aumentar en medida aumenta el nivel, pero aun así la correlación es baja también en este caso, sin embargo los valores promedios obtenidos de los coeficientes de rugosidad es el mismo para ambos casos y está dentro de los rangos de coeficientes característicos para un río de lecho limo arenoso, este caso es similar a lo obtenido en el estudio realizado en la caracterización y simulación del río Cauca donde la correlación de los niveles respecto a los coeficientes de rugosidad (aunque en este caso se trabajo con los coeficientes de rugosidad de Chezy) no presentaban correlaciones aceptables, pero si se manejaban los valores de los datos dentro de los rangos aceptables.

GRAFICOS DE TENDENCIAS DE NIVEL VRS RUGOSIDAD PARA LA ESTACION LAS LECHUZAS

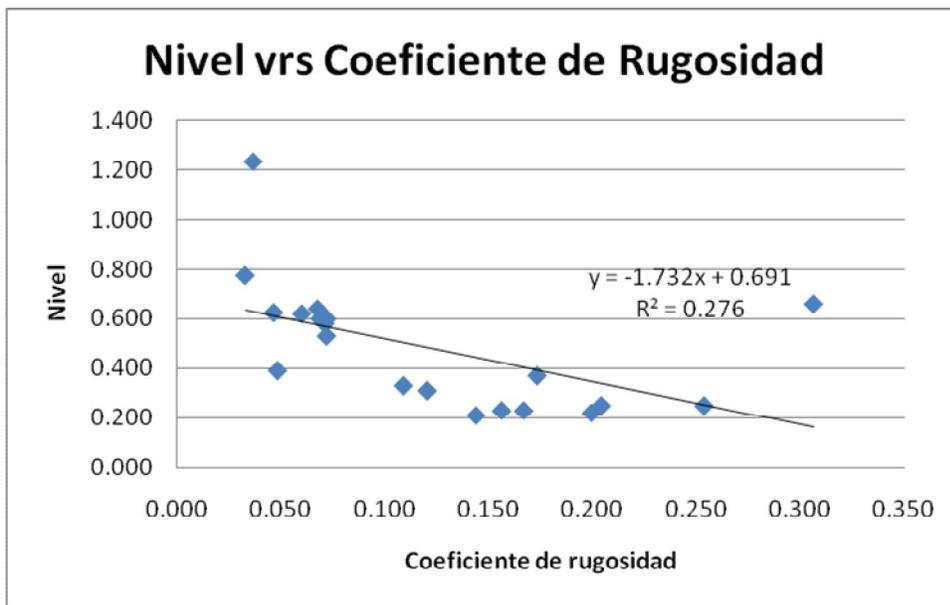


Figura 43. Grafico de la tendencia general de los niveles vrs coeficiente de rugosidad para la estación Las Lechuzas

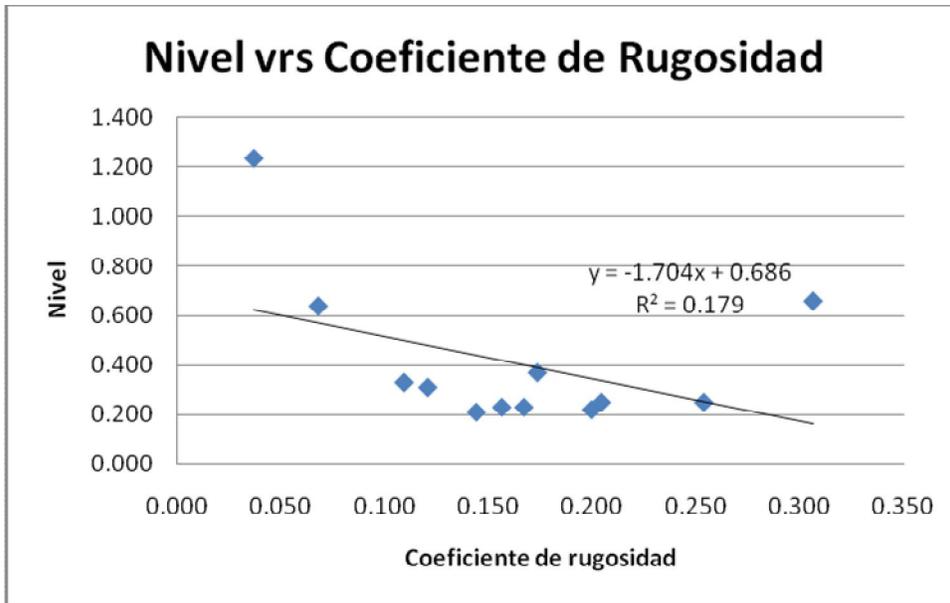


Figura 44. Grafico de la tendencia general de los niveles vrs coeficiente de rugosidad para la estación Las Lechuzas, época seca

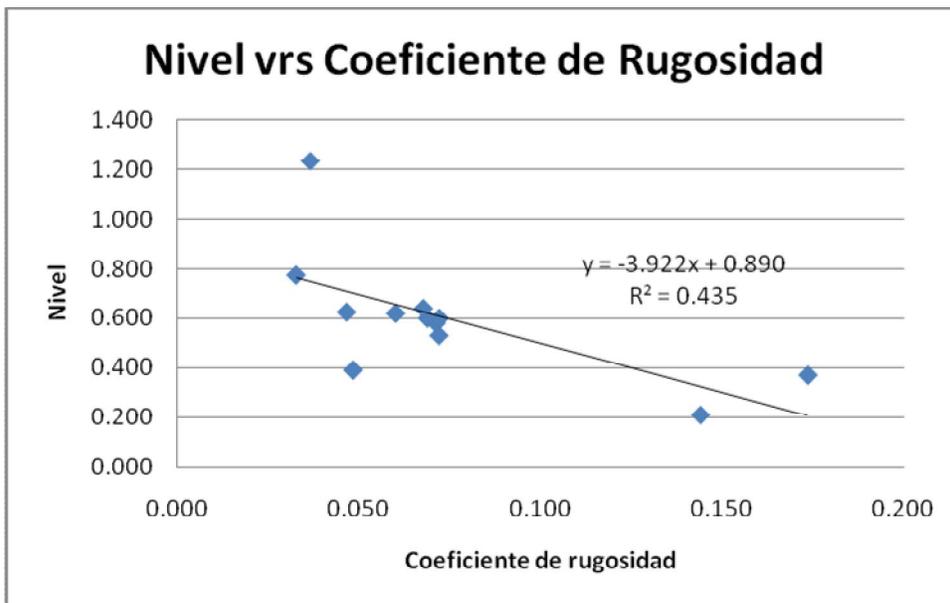


Figura 45. Grafico de la tendencia general de los niveles vrs coeficiente de rugosidad para la estación Las Lechuzas, época lluviosa.

Para el caso de la estación Las Lechuzas se observa que la tendencia de los valores de los coeficientes de rugosidad respecto al nivel del agua es de disminuir,

caso similar al estudio realizado en la Universidad Nacional del Nordeste de Argentina, aunque como en el caso de la estación Las Cruces a pesar que se presentan una mejor correlación, esta sigue siendo baja.

Al averiguar con el personal encargado de la realización de los aforos para estos sitios se conoció que en el caso de la Estación La Lechuzas a pesar de ser un lecho rocoso de cantos rodados, se presenta bastante depositación de sedimentos en uno de los márgenes del río, lo cual puede explicar la disminución del coeficiente de rugosidad al haber aumento de nivel.

Con el análisis de los valores obtenidos y los resultados obtenidos por los estudios realizados en las universidades de Colombia y Argentina, se puede observar que para estos casos, las tendencias y correlaciones de los niveles de agua y coeficientes de rugosidad son muy dispersos, la aplicabilidad de la ecuación de Manning es válida siempre y cuando se mantenga un riguroso control en las características del río en estudio y las condiciones que presenta, debido a que pueden haber factores geomorfológicos que afecten a la tendencia de los datos, como por ejemplo ríos de lecho móvil, o factores humanos, que pueden incidir en el proceso de la toma de datos en los estudios.

Este documento ha sido realizado e impreso gracias al apoyo de la Unión Europea a través del Programa Regional de Reducción de la Vulnerabilidad y Degradación Ambiental -PREVDA- ALA/2005/017-550

Este documento ha sido realizado e impreso gracias al apoyo de la Unión Europea a través del Programa Regional de Reducción de la Vulnerabilidad y Degradación Ambiental -PREVDA- ALA/2005/017-550