

	<b>GESTIÓN DE RECURSOS Y SERVICIOS BIBLIOTECARIOS</b>	<b>Código</b>	FO-SB- 12/v0
	<b>ESQUEMA HOJA DE RESUMEN</b>	<b>Página</b>	<b>1/1</b>

**RESUMEN TRABAJO DE GRADO**

**AUTOR(ES):**

**NOMBRE(S):** DANIEL ALEXANDER **APELLIDOS:** GAMBOA CHACÓN

**NOMBRE(S):** MICHELLE ANDREA **APELLIDOS:** GUERRERO RINCÓN

**FACULTAD:** INGENIERÍA

**PLAN DE ESTUDIOS:** INGENIERÍA CIVIL

**DIRECTOR:**

**NOMBRE(S):** GUSTAVO ADOLFO **APELLIDOS:** CARRILLO SOTO

**TÍTULO DEL TRABAJO (TESIS):** SIMILITUD HIDROLÓGICA DE CUENCAS DE LA REGIÓN NOR-ORIENTAL ANDINA DE COLOMBIA

**RESUMEN**

Este trabajo tenía como objetivo establecer una similitud hidrológica entre cuencas de los departamentos de Boyacá, Cundinamarca, Norte de Santander y Santander los cuales pertenecen la región nor-oriental Andina de Colombia, a través de la respuesta de la función hidrológica de las cuencas, es decir firmas hidrológicas; incluyendo variables morfológicas, hidrológicas y climatológicas. El análisis de cada firma para establecer la similitud hidrológica de las cuencas se determinó mediante el algoritmo del K-means, el cual las agrupó en un número previamente determinado de clusters (clases), por medio del método del codo; y se estableció la relación existente entre estas clases junto con las variables de cada cuenca. Adicionalmente se realizó una evaluación de todas las cuencas con el método de árbol de clasificación y regresión.

**PALABRAS CLAVE:** Similitud Hidrológica – Cuenca – Firmas Hidrológicas – K-means – Árbol de clasificación

**CARACTERÍSTICAS:**

**PÁGINAS:** 182 **PLANOS:**      **ILUSTRACIONES:**      **CD ROOM:** 1

<b>Elaboró</b>		<b>Revisó</b>		<b>Aprobó</b>	
Equipo Operativo del Proceso		Comité de Calidad		Comité de Calidad	
<b>Fecha</b>	24/10/2014	<b>Fecha</b>	05/12/2014	<b>Fecha</b>	05/12/2014

COPIA NO CONTROLADA

SIMILITUD HIDROLÓGICA DE CUENCAS DE LA REGIÓN NOR-ORIENTAL ANDINA  
DE COLOMBIA

DANIEL ALEXANDER GAMBOA CHACÓN

MICHELLE ANDREA GUERRERO RINCÓN

UNIVERSIDAD FRANCISCO DE PAULA SANTANDER

FACULTAD DE INGENIERÍA

PLAN DE ESTUDIOS INGENIERÍA CIVIL

SAN JOSÉ DE CÚCUTA

2018

SIMILITUD HIDROLÓGICA DE CUENCAS DE LA REGIÓN NOR-ORIENTAL ANDINA  
DE COLOMBIA

DANIEL ALEXANDER GAMBOA CHACÓN

MICHELLE ANDREA GUERRERO RINCÓN

Trabajo presentado como requisito para optar al título de:

Ingeniero Civil

Director:

GUSTAVO ADOLFO CARRILLO SOTO

I.C.-MSc.-PhD. en Hidrología

UNIVERSIDAD FRANCISCO DE PAULA SANTANDER

FACULTAD DE INGENIERÍA

PLAN DE ESTUDIOS INGENIERÍA CIVIL

SAN JOSÉ DE CÚCUTA

2018

## ACTA DE SUSTENTACION DE TRABAJO DE GRADO

FECHA: 17 DE AGOSTO DE 2018 HORA: 11:00 a. m.  
LUGAR: FUNDADORES 309  
PLAN DE ESTUDIOS: INGENIERIA CIVIL  
TITULO DE LA TESIS: "SIMILITUD HIDROLÓGICO DE CUENCAS EN LA REGIÓN NOR-ORIENTAL ANDINA DE COLOMBIA".  
JURADOS: ING. NELSON JAVIER CELY CALIXTO  
ING. JUAN CARLOS SAYAGO ORTEGA  
DIRECTOR: Ph.D. GUSTAVO ADOLFO CARRILLO SOTO.

NOMBRE DE LOS ESTUDIANTES:	CODIGO	CALIFICACION	
		NUMERO	LETRA
DANIEL ALEXANDER GAMBOA CHACON	1111750	4,5	CUATRO, CINCO
MICHELE ANDREA GUERRERO RINCON	1111754	4,5	CUATRO, CINCO

# MERITORIA

FIRMA DE LOS JURADOS

  
ING. NELSON JAVIER CELY CALIXTO

  
ING. JUAN CARLOS SAYAGO ORTEGA

Vo. Bo.   
JAVIER ALFONSO CARDENAS GUTIERREZ  
Coordinador Comité Curricular

Betty M.

## **Agradecimientos**

Agradecemos primeramente a Dios por la vida y la salud que nos ha brindado durante todo este tiempo para poder llevar a cabo esta meta propuesta. A nuestro director el ingeniero Gustavo Adolfo Carrillo Soto por su dedicación, asesoría y consejos durante todo el desarrollo de la idea del proyecto. Al economista y profesor Omar Bernal en la asesoría metodológica de la elaboración del proyecto; a los ingenieros Julián Aldana, Sofía Márquez y Miguel Ayala en el manejo del software ArcGis y presentación de resultados. También un agradecimiento a la contadora Kelly Enríquez por su colaboración en la parte final del trabajo y en la estructuración del proyecto.

## **Dedicatoria**

Va dedicado este logro primeramente a Dios quien me dio la oportunidad de cumplir uno de los tantos sueños que tengo; y en especial a mi madre Luz Aurora Chacón, quien con su trabajo y apoyo incondicional durante estos cinco años y medio, a pesar de todas las adversidades y sacrificios logró sacar adelante mi carrera sin la ayuda de nadie más; y también a mi hermana Leidy Tatiana Gamboa Chacon, quien estuvo siempre dando ánimos durante mi carrera.

A mis profesores de colegio quienes me formaron y prepararon para asumir este gran reto, en especial a los profesores Aura Bermonth, Néstor Parra y Claudia Peñaloza; así mismo a todos los amigos del colegio y de la universidad, quienes a pesar de ser pocos aún están conmigo apoyándome durante todos estos años. Y una dedicatoria especial a Michelle Guerrero, quien me ofreció su amistad desde el comienzo de la carrera y pasamos por incontables momentos duros, así como buenos y anécdotas durante todo el transcurso de la carrera, hasta el desarrollo del trabajo de grado, y de quien espero nunca acaben.

Daniel Alexander Gamboa Chacón

## **Dedicatoria**

A mis queridos padres Jairo Javier Guerrero y Ruth Teresa Rincón Rodríguez por su esfuerzo en bríndame y darme siempre lo mejor. Por su gran apoyo en lograr convertirme en lo que soy hoy en día, y tener la fe intacta en mí de poder conseguir este título tan anhelado. Infinitas gracias y por mi parte recibirán lo mejor. A mis hermanos, abuela, tíos, primos y demás por acompañarme en todo este proceso y entender muchas el porqué de mis ausencias. A mi prima Joselin Villareal por su ejemplo de perseverancia y resiliencia.

A la señora Aurora Chacón quien me acogió como una hija y me acompañó también en este proceso dándome un apoyo incondicional. A su hijo Daniel Gamboa quien también es mi gran amigo y compañero de toda la carrera en su apoyo, ayuda y paciencia.

A mi mejor amiga Sofy Fuentes, mi hermana desde ya hace mucho tiempo y quien me ha brindado la fuerza en mis momentos de flaqueza.

A mi novio Frank Blanco quien me acompañó y ayudó en este proceso final, gracias por tu gran amor, comprensión, apoyo y sobre todo tu paciencia.

Michelle Andrea Guerrero Rincón

## Contenido

	<b>pág.</b>
Introducción	19
1. Problema	21
1.1 Título	21
1.2 Descripción del Problema	21
1.3 Delimitación del Problema	24
1.4 Definición del Problema	25
1.5 Planteamiento o Formulación del Problema	26
1.6 Justificación	26
1.7 Sistematización el Problema	28
1.8 Objetivos	28
1.8.1 Objetivo general	28
1.8.2 Objetivos específicos	28
1.9 Limitaciones	28
2. Marco Referencial	30
2.1 Antecedentes	30
2.1.1 Nacionales	30
2.1.2 Internacionales	31
2.2 Marco Teórico	35
2.2.1 Coeficiente de escorrentía	36
2.2.2 Pendiente de la curva de duración de caudales	36
2.2.3 Índice del flujo de base	37
2.2.4 Elasticidad de caudales: caudal elasticidad (Eqp [-])	37

2.2.5 Orden de corrientes	37
2.2.6 Ancho de la cuenca	38
2.2.7 Perímetro de la cuenca	38
2.2.8 Pendiente media de la cuenca	38
2.2.9 Longitud del cauce principal	38
2.2.10 Densidad de drenajes	38
2.2.11 Coeficiente de compacidad	39
2.2.12 Relación de circularidad	39
2.2.13 Relación de elongación	39
2.2.14 Factor de forma de Horton	39
2.2.15 Polígonos de Thiessen	40
2.2.16 Modelo de elevación digital (DEM)	40
2.2.17 Sistema de referencia	43
2.2.17.1 Magna-Sirgas	43
2.2.17.2 WGS8	44
2.2.17.3 U T M	46
2.2.18 Sistema de información geográfica	49
2.2.19 La creación de datos	50
2.2.20 La representación de los datos	51
2.3 Marco Conceptual	80
2.4 Marco Legal	82
3. Diseño metodológico	86
3.1 Naturaleza de la Investigación	86
3.1.1 Según el ámbito	86

3.1.2 Según los objetivos propuestos	86
3.1.3 Según el periodo en que se efectua	87
3.2 Población y Muestra	87
3.2.1 Población	87
3.2.2 Muestra	87
3.3 Instrumentos para la Recolección de Información	87
4. Estado del arte de la Similitud Hidrológica	89
4.1 Coeficiente de Escorrentía	89
4.2 Rango de Curva de Régimen	90
4.3 Elasticidad de Caudal	90
4.4 Índice de Flujo de Base	91
4.5 Pendiente curva de Duración de Caudales	92
5. Metodología Aplicada	94
6. Firmas Hidrológicas	102
6.1 Coeficiente de Escorrentía	104
6.2 Rango de Curva de Régimen	107
6.3 Elasticidad de Caudal	112
6.4 Índice de flujo Base	112
6.5 Pendiente Curva de Duración de Caudales	113
7. Variables climatológicas	114
8. Método de K-Means Para el Agrupamiento de Firmas	120
8.1 Método K-means para el agrupamiento del Coeficiente de Escorrentía	120
8.2 Método K-Means para el Agrupamiento de Rango de Curva de Régimen	129
8.3 Método K-means para el Agrupamiento de Elasticidad de Caudal	138

8.4 Método K-means para la agrupación del Índice de Flujo Base	146
8.5 Método K-means para el agrupamiento de la Pendiente de la curva de duración de caudal	154
9. Árbol de clasificación de las cuencas por las firmas IFB-CE	163
10. Conclusiones	173
11. Recomendaciones	177
Referencias Bibliográficas	178