

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

## RESUMEN TRABAJO DE GRADO

AUTOR(ES):

NOMBRE(S): LUIS MIGUEL

APELLIDOS: AYALA IBARRA

FACULTAD: INGENIERÍA

PLAN DE ESTUDIOS: INGENIERÍA CIVIL

DIRECTOR:

NOMBRE(S): GUSTAVO ADOLFO

APELLIDOS: CARRILLO SOTO

TÍTULO DEL TRABAJO (TESIS): SIMILITUD HIDROLÓGICA DE CUENCAS EN LA ZONA SUR DE LA REGIÓN ANDINA DE COLOMBIA

RESUMEN

El presente trabajo tuvo como propósito establecer una similitud hidrológica en cuencas de los departamentos Cauca, Huila y Tolima, las cuales se delimitaron y calcularon algunas de sus características geomorfológicas mediante el Software ArcMap. Se necesitó un registro de datos temporales (Mayor a 15 años) de precipitación total mensual, caudal medio diario y caudal medio mensual, siendo estos fundamentales para deducir las firmas hidrológicas que definen similitud hidrológica entre cuencas. A partir de las firmas hidrológicas, se hizo un análisis de agrupamiento (Clustering) con el algoritmo K-means el cuál posteriormente fue evaluado con los parámetros geomorfológicos hallado en el presente trabajo, seguidamente se evaluaron las firmas hidrológicas con método jerárquico árbol de clasificación y regresión, C&RT.

PALABRAS CLAVE: similitud hidrológica, firmas hidrológicas, clustering, k-menans, árbol de clasificación y regresión.

CARACTERISTICAS:

PÁGINAS: 349 PLANOS: \_\_\_ ILUSTRACIONES: 145 CD ROOM: 1

| Elaboró                      |            | Revisó            |            | Aprobó            |            |
|------------------------------|------------|-------------------|------------|-------------------|------------|
| Equipo Operativo del Proceso |            | Comité de Calidad |            | Comité de Calidad |            |
| Fecha                        | 24/10/2014 | Fecha             | 05/12/2014 | Fecha             | 05/12/2014 |

COPIA NO CONTROLADA

SIMILITUD HIDROLÓGICA DE CUENCAS EN LA ZONA SUR DE LA REGIÓN  
ANDINA DE COLOMBIA

LUIS MIGUEL AYALA IBARRA

UNIVERSIDAD FRANCISCO DE PAULA SANTANDER

FACULTAD DE INGENIERÍA

PLAN DE ESTUDIOS INGENIERÍA CIVIL

SAN JOSÉ DE CÚCUTA

2018

SIMILITUD HIDROLÓGICA DE CUENCAS EN LA ZONA SUR DE LA REGIÓN  
ANDINA DE COLOMBIA

LUIS MIGUEL AYALA IBARRA

MODALIDAD TRABAJO DESCRIPTIVO

Proyecto 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 MAYO DE 2018 **HORA:** 2:00 p. m.

**LUGAR:** SALA DE FOTOGRAFIA – EDIFICIO CREAD - UFPS

**PLAN DE ESTUDIOS:** INGENIERIA CIVIL

**TITULO DE LA TESIS:** "SIMILITUD HIDROLOGICA DE CUENCAS EN LA ZONA SUR DE LA REGION ANDINA DE COLOMBIA "

**JURADOS:** ING. NELSON JAVIER CELY CALIXTO  
ING. EDGAR VILLEGAS PALLARES

**DIRECTOR:** INGENIERO GUSTAVO ADOLFO CARRILLO SOTO.

| NOMBRE DE LOS ESTUDIANTES: | CODIGO  | CALIFICACION |               |
|----------------------------|---------|--------------|---------------|
|                            |         | NUMERO       | LETRA         |
| LUIS MIGUEL AYALA IBARRA   | 1111653 | 4,5          | CUATRO, CINCO |

# MERITORIA

### FIRMA DE LOS JURADOS

  
ING. NELSON JAVIER CELY CALIXTO

  
ING. EDGAR VILLEGAS PALLARES

Vo. Bo.   
JAVIER ALFONSO CARDENAS GUTIERREZ  
Coordinador Comité Curricular

Betty M.

## Tabla de contenido

|                                       |    |
|---------------------------------------|----|
| Introducción                          | 27 |
| 1. Problema                           | 29 |
| 1.1. Título                           | 29 |
| 1.2. Planteamiento del problema       | 29 |
| 1.3. Formulación del problema         | 29 |
| 1.4. Justificación                    | 30 |
| 1.5. Objetivos                        | 30 |
| 1.5.1. Objetivo General.              | 30 |
| 1.5.2. Objetivos Específicos.         | 30 |
| 1.6. Alcances y Limitaciones          | 30 |
| 1.6.1. Alcances.                      | 30 |
| 1.6.2. Limitaciones.                  | 30 |
| 1.7. Delimitación espacial y temporal | 31 |
| 2. Marco de referencia                | 33 |
| 2.1. Antecedentes                     | 33 |
| 2.1.1. Empíricos.                     | 33 |
| 2.1.2. Bibliográficos.                | 33 |
| 2.1.2.1. Nacionales.                  | 33 |
| 2.1.2.2. Internacionales.             | 34 |

|   |    |
|---|----|
| 2.2. Marco conceptual   | 36 |
| 2.3. Marco teórico  | 37 |
| 2.3.1. Parámetro adimensional referente a condiciones de similitud geométrica.    | 38 |
| 2.3.2. Parámetro adimensional referente a condiciones de escurrimiento.           | 39 |
| 2.3.3. Parámetro adimensional referente a condiciones de escurrimiento sostenido. | 39 |
| 2.3.4. Parámetro adimensional orográfico y semejanza dinámica.                    | 40 |
| 2.3.5. Parámetro de relación de confluencias promedio y semejanza cinemática.     | 41 |
| 2.3.6. Firmas hidrológicas.   | 42 |
| 2.3.6.1. Coeficiente de escorrentía (CE [-]).                                     | 42 |
| 2.3.6.2. Pendiente de la curva de duración de caudales (SFDC).                    | 43 |
| 2.3.6.3. Índice de flujo base (IFB [-]).  | 43 |
| 2.3.6.4. Elasticidad del caudal (EQP [-]).  | 45 |
| 2.3.6.5. Densidad de ramas ascendentes en el hidrograma (RLD).                    | 46 |
| 2.3.7. Polígonos de Thiessen.   | 46 |
| 2.3.8. Modelo de Elevación Digital (DEM).   | 47 |
| 2.3.8.1. Sistema de referencia.   | 49 |
| 2.3.8.1.1. MAGNA-SIRGAS.  | 50 |
| 2.3.8.1.2. WGS84.   | 53 |
| 2.3.8.1.3. UTM.   | 54 |
| 2.3.8.2. Ráster.  | 57 |

|   |    |
|---|----|
| 2.3.8.2.1. Características generales de datos ráster.         | 59 |
| 2.3.8.2.2. Ubicación de coordenadas en un ráster.             | 64 |
| 2.3.8.3. Sistemas de Información Geográfica – SIG.            | 67 |
| 2.3.8.3.1. ArcMap.  | 68 |
| 2.3.9. TauDEM.  | 69 |
| 2.3.9.1. Conjunto de herramientas Basic Grid Analysis.        | 70 |
| 2.3.9.1.1. Pit Remove.  | 70 |
| 2.3.9.1.2. D8 Flow Directions.                                | 71 |
| 2.3.9.1.3. D8 Contributing Area.                              | 72 |
| 2.3.9.2. Conjunto de herramientas Stream Network Analysis.    | 74 |
| 2.3.9.2.1. Stream Drop Analysis (Análisis de caída de flujo). | 75 |
| 2.3.9.2.2. Stream Definition By Threshold.                    | 78 |
| 2.3.9.2.3. Stream Reach And Watershed.                        | 78 |
| 2.3.10. Estaciones del IDEAM.                                 | 79 |
| 2.3.11. Clustering.   | 81 |
| 2.3.11.1. Funciones de distancia                              | 82 |
| 2.3.11.2. Algoritmo K-Means                                   | 83 |
| 2.3.11.3. Árboles de clasificación y regresión                | 86 |
| 2.3.12. XLSTAT.   | 88 |
| 2.3.12.1. Criterios de clasificación para K-Means Clustering. | 88 |

|  |     |
|--|-----|
| 2.3.12.2. Métodos de clasificación por medio del análisis de árbol de clasificación y regresión. | 89  |
| 2.4. Marco legal   | 93  |
| 3. Diseño metodológico   | 94  |
| 3.1. Línea de investigación  | 94  |
| 3.2. Tipo de investigación   | 94  |
| 3.3. Población y muestra   | 95  |
| 3.3.1. Población.  | 95  |
| 3.3.2. Muestra.  | 95  |
| 3.4. Fuentes para la recolección de la información   | 96  |
| 3.4.1. Fuentes primarias.  | 96  |
| 3.4.2. Fuentes secundarias.  | 96  |
| 4. Estado del arte: Similitud Hidrológica  | 98  |
| 5. Cuencas de estudio  | 106 |
| 6. Parámetros geomorfológicos de las cuencas de estudio  | 112 |
| 6.1. Grande (Riogrande-Cauca [44017050])   | 113 |
| 6.2. Villalobos (Betania-Villalobos [44017140])  | 116 |
| 6.3. Patía (La Fonda [52017030])   | 119 |
| 6.4. Quilcase (El Hoyo [52017120])   | 122 |
| 6.5. Timbío (Pte Colgante Timbío [52017130])   | 125 |



|  |     |
|--|-----|
| 6.6. Guachicono (Guachicono [52027010])                  | 128 |
| 6.7. Napi (Sangaral [53047010])                          | 131 |
| 6.8. Micay (Angostura Rio Micay [530770170])             | 134 |
| 6.9. Chuare (El Mono [53077060])                         | 137 |
| 6.10. Hondo (Pte Carretera [26037030])                   | 140 |
| 6.11. Cabrera (Carrasposo [21147030])                    | 143 |
| 6.12. Guarapas (Pitalito 2 Automática [21017050])        | 146 |
| 6.13. Páez (Paicol Autom [21057060])                     | 149 |
| 6.14. La Plata (Vega El Salado [21057050])               | 152 |
| 6.15. Suaza (Pte Garcés automática [21037010])           | 155 |
| 6.16. Yaguara [HDA Venecia Automática [21087080])        | 158 |
| 6.17. Ceibas (Pueblo Nuevo Autom [21117100])             | 161 |
| 6.18. Cuinde (San Pablo Tolima [21167060])               | 164 |
| 6.19. Negro (La Mora Autom [21167080])                   | 167 |
| 6.20. Ata (El Condor [22027010])                         | 170 |
| 6.21. Saldaña (Piedras de Cobre [22057010])              | 173 |
| 6.22. Combeima (Montezuma [21217180])                    | 176 |
| 6.23. Lagunilla (Pte Gato Negro [21257120])              | 179 |
| 6.24. Gualí (La Esperanza [23017040])                    | 182 |
| 6.25. San Vicente del Combeima ([San Vicente [21217220]) | 185 |

|   |     |
|---|-----|
| 7. Precipitación media mensual  | 190 |
| 7.1. Polígonos de Thiessen de las cuencas hidrográficas seleccionadas | 191 |
| 7.1.1. Polígonos de Thiessen – Cuenca Grande [44017050]               | 192 |
| 7.1.2. Polígonos de Thiessen – Cuenca Villalobos [44017140]           | 195 |
| 7.1.3. Polígonos de Thiessen – Cuenca Patía [52017030]                | 198 |
| 7.1.4. Polígonos de Thiessen – Cuenca Quilcase [52017120]             | 201 |
| 7.1.5. Polígonos de Thiessen – Cuenca Timbío [52017130]               | 204 |
| 7.1.6. Polígonos de Thiessen – Cuenca Guachicono [52027010]           | 207 |
| 7.1.7. Polígonos de Thiessen – Cuenca Napi [53047010]                 | 210 |
| 7.1.8. Polígonos de Thiessen – Cuenca Micay [530770170]               | 213 |
| 7.1.9. Polígonos de Thiessen – Cuenca Chuare [53077060]               | 216 |
| 7.1.10. Polígonos de Thiessen – Cuenca Hondo [26037030]               | 219 |
| 7.1.11. Polígonos de Thiessen – Cuenca Cabrera [21147030]             | 223 |
| 7.1.12. Polígonos de Thiessen – Cuenca Guarapas [21017050]            | 228 |
| 7.1.13. Polígonos de Thiessen – Cuenca Páez [21057060]                | 232 |
| 7.1.14. Polígonos de Thiessen – Cuenca La Plata [21057050]            | 236 |
| 7.1.15. Polígonos de Thiessen – Cuenca Suaza [21037010]               | 240 |
| 7.1.16. Polígonos de Thiessen – Cuenca Yaguara [21087080]             | 244 |
| 7.1.17. Polígonos de Thiessen – Cuenca Ceibas [21117100]              | 248 |
| 7.1.18. Polígonos de Thiessen – Cuenca Cuiinde [21167060]             | 252 |

|   |     |
|---|-----|
| 7.1.19. Polígonos de Thiessen – Cuenca Negro [21167080]   | 256 |
| 7.1.20. Polígonos de Thiessen – Cuenca Ata [22027010]   | 259 |
| 7.1.21. Polígonos de Thiessen – Cuenca Saldaña [22057010]                                       | 262 |
| 7.1.22. Polígonos de Thiessen – Cuenca Combeima [21217180]                                      | 266 |
| 7.1.23. Polígonos de Thiessen – Cuenca Lagunilla [21257120]                                     | 269 |
| 7.1.24. Polígonos de Thiessen – Cuenca Gualí [23017040]   | 272 |
| 7.1.25. Polígonos de Thiessen – Cuenca San Vicente del Combeima [21217220]                      | 275 |
| 8. Firmas hidrológicas de las cuencas seleccionadas   | 280 |
| 9. Similitud hidrológica de las cuencas seleccionadas   | 284 |
| 9.1. Agrupamiento por algoritmo K-Means para las firmas hidrológicas propuestas                 | 284 |
| 9.1.1. K-Means para el agrupamiento del Índice de Flujo Base (IFB).                             | 287 |
| 9.1.2. K-Means para el agrupamiento de la Densidad de Ramas Ascendentes en el Hidrograma (RLD). | 295 |
| 9.1.3. K-Means para el agrupamiento de la Pendiente de la Curva de Duración de Caudales (SFDC). | 304 |
| 9.1.4. K-Means para el agrupamiento del Coeficiente de Escorrentía (CE).                        | 313 |
| 9.1.5. K-Means para el agrupamiento de la elasticidad de caudal (EQP).                          | 323 |
| 9.2. Árboles de clasificación y regresión para las firmas hidrológicas propuestas               | 332 |
| 10. Conclusiones  | 336 |
| 11. Recomendaciones   | 340 |