

	<b>GESTIÓN SERVICIOS BIBLIOTECARIOS</b>					  	
	<b>CARTA DE AUTORIZACIÓN</b>						
<b>CÓDIGO</b>	<b>AP-BIB-FO-06</b>	<b>VERSIÓN</b>	<b>1</b>	<b>VIGENCIA</b>	<b>2014</b>	<b>PÁGINA</b>	<b>1 de 2</b>

Neiva, 04 de Abril de 2017

Señores

CENTRO DE INFORMACIÓN Y DOCUMENTACIÓN

UNIVERSIDAD SURCOLOMBIANA

Ciudad

El (Los) suscrito(s):

Hernan Javier Castillo Ceron, con C.C. No. 1.081.408.901, Pablo Andrés García Ochoa, con C.C. No. 1.075.262.763 autor (es) de la tesis y/o trabajo de grado Titulado Caracterización climática en el contexto del ordenamiento productivo agrícola de la cuenca hidrográfica rio Bache ubicada al norte del departamento del Huila, presentado y aprobado en el año 2017 como requisito para optar al título de Ingeniero Agrícola, autorizo (ambos) al Centro de Información y Documentación de la Universidad Surcolombiana para que, con fines académicos, muestre al país y el exterior la producción intelectual de la Universidad Surcolombiana, a través de la visibilidad de su contenido de la siguiente manera:

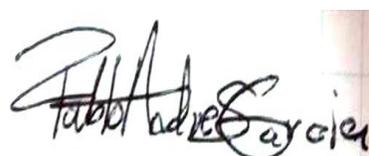
- Los usuarios puedan consultar el contenido de este trabajo de grado en los sitios web que administra la Universidad, en bases de datos, repositorio digital, catálogos y en otros sitios web, redes y sistemas de información nacionales e internacionales “open access” y en las redes de información con las cuales tenga convenio la Institución.
- Permita la consulta, la reproducción y préstamo a los usuarios interesados en el contenido de este trabajo, para todos los usos que tengan finalidad académica, ya sea en formato Cd-Rom o digital desde internet, intranet, etc., y en general para cualquier formato conocido o por conocer, dentro de los términos establecidos en la Ley 23 de 1982, Ley 44 de 1993, Decisión Andina 351 de 1993, Decreto 460 de 1995 y demás normas generales sobre la materia.
- Continúo conservando los correspondientes derechos sin modificación o restricción alguna; puesto que, de acuerdo con la legislación colombiana aplicable, el presente es un acuerdo jurídico que en ningún caso conlleva la enajenación del derecho de autor y sus conexos.

De conformidad con lo establecido en el artículo 30 de la Ley 23 de 1982 y el artículo 11 de la Decisión Andina 351 de 1993, “Los derechos morales sobre el trabajo son propiedad de los autores” , los cuales son irrenunciables, imprescriptibles, inembargables e inalienables.

Hernan Javier Castillo Ceron:

Pablo Andrés García Ochoa

Firma:  
Firma:



## GESTIÓN SERVICIOS BIBLIOTECARIOS

### CARTA DE AUTORIZACIÓN



<b>CÓDIGO</b>	<b>AP-BIB-FO-06</b>	<b>VERSIÓN</b>	<b>1</b>	<b>VIGENCIA</b>	<b>2014</b>	<b>PÁGINA</b>	<b>2 de 2</b>
---------------	---------------------	----------------	----------	-----------------	-------------	---------------	---------------

	<b>GESTIÓN SERVICIOS BIBLIOTECARIOS</b>				  		
	<b>DESCRIPCIÓN DE LA TESIS Y/O TRABAJOS DE GRADO</b>						
<b>CÓDIGO</b>	<b>AP-BIB-FO-07</b>	<b>VERSIÓN</b>	<b>1</b>	<b>VIGENCIA</b>	<b>2014</b>	<b>PÁGINA</b>	<b>1 de 4</b>

**TÍTULO COMPLETO DEL TRABAJO:**

Caracterización climática en el contexto del ordenamiento productivo agrícola de la cuenca hidrográfica Río Baché ubicada al norte del departamento del Huila

**AUTOR O AUTORES:**

Primero y Segundo Apellido	Primero y Segundo Nombre
García Ochoa	Pablo Andrés
Castillo Ceron	Hernan Javier

**DIRECTOR Y CODIRECTOR TESIS:**

Primero y Segundo Apellido	Primero y Segundo Nombre
Izquierdo Bautista	Jaime
Guzmán López	Helmer Alexis

**ASESOR (ES):**

Primero y Segundo Apellido	Primero y Segundo Nombre
Quimbaya Lasso	Felipe Andrés
Ladino Rincón	Alfonso

**PARA OPTAR AL TÍTULO DE:** Ingeniero Agrícola

**FACULTAD:** Ingeniería

**PROGRAMA O POSGRADO:** Agrícola

	<b>GESTIÓN SERVICIOS BIBLIOTECARIOS</b>					  	
	DESCRIPCIÓN DE LA TESIS Y/O TRABAJOS DE GRADO						
<b>CÓDIGO</b>	<b>AP-BIB-FO-07</b>	<b>VERSIÓN</b>	<b>1</b>	<b>VIGENCIA</b>	<b>2014</b>	<b>PÁGINA</b>	<b>2 de 4</b>

**CIUDAD:** Neiva **AÑO DE PRESENTACIÓN:** 2016 **NÚMERO DE PÁGINAS:** 101

**TIPO DE ILUSTRACIONES** (Marcar con una X):

Diagramas X Fotografías X Grabaciones en discos \_\_\_ Ilustraciones en general x Grabados \_\_\_ Láminas \_\_\_  
 Litografías \_\_\_ Mapas X Música impresa \_\_\_ Planos X Retratos \_\_\_ Sin ilustraciones \_\_\_ Tablas o Cuadros X

**SOFTWARE** requerido y/o especializado para la lectura del documento:

- Pdf, Python, Matlab, ArcGis, Office.

**MATERIAL ANEXO:**

- Código de Programación
- Mapas de la cuenca
- Tablas
- Encuestas y resultados

**PREMIO O DISTINCIÓN** (En caso de ser LAUREADAS o Meritoria):

**PALABRAS CLAVES EN ESPAÑOL E INGLÉS:**

	<u>Español</u>	<u>inglés</u>
1.	Caracterización Climática	Climate Characterization
2.	Variabilidad Climática	Climate Variability
3.	Transformada de Wavelet	Wavelet Transform
4.	Transformada de Fourier	Fourier Transform
5.	Índice Oceánico del niño (ONI)	Oceanic Niño Index
6.	Cambio climático	Climate change
7.	Índice Multivariado ENSO (MEI)	Multivariate ENSO index
8.	Zona de Convergencia Intertropical (ZCIT)	Intertropical Convergence Zone
9.	Ordenamiento Productivo	Productive Management
10.	Árbol de decisión	Decision tree

	<b>GESTIÓN SERVICIOS BIBLIOTECARIOS</b>					  	
	<b>DESCRIPCIÓN DE LA TESIS Y/O TRABAJOS DE GRADO</b>						
<b>CÓDIGO</b>	<b>AP-BIB-FO-07</b>	<b>VERSIÓN</b>	<b>1</b>	<b>VIGENCIA</b>	<b>2014</b>	<b>PÁGINA</b>	<b>3 de 4</b>

**RESUMEN DEL CONTENIDO:** (Máximo 250 palabras)

El propósito de este estudio fue caracterizar las condiciones climatológicas de la cuenca hidrográfica Río Baché, mediante la metodología establecida por Caldas-Lang, con el fin de identificar la biodiversidad climática de esta, de igual forma se generó un análisis climático detallado de la cuenca mediante una serie de datos de 30 años (1985-2015) donde se observó la anomalía en las diferentes variables meteorológicas como la temperatura, precipitación y brillo solar, para de esta forma identificar los periodos en los que el ENSO genero algún tipo de comportamiento anómalo en estas, los cuales están fuertemente ligados a fenómenos como los del Niño y Niña, su intensidad y duración a lo largo de estos 30 años de estudio, con el fin de apoyar la toma de decisiones en la planificación y manejo integral de los recursos agua, suelo y clima en la zona de estudio, teniendo en cuenta los efectos adversos para la agricultura y la seguridad alimentaria que estos fenómenos ocasionan. La cuenca hidrográfica Río Bache (1168.3 km<sup>2</sup>) se encuentra ubicada al norte del departamento del Huila, zona donde la disponibilidad del recurso hídrico es un asunto muy importante ya que predominan las condiciones cálidas y áridas; por último, mediante la aplicación de herramientas informáticas como lo son los arboles de decisión, se tuvieron en cuenta diferentes variables que involucran la interacción de factores y procesos de producción en coherencia con el medio biofísico, social económico y cultural, para generar así un mecanismo de ordenamiento productivo agrícola acorde a la oferta y demanda de los recursos naturales en el área de estudio.

**ABSTRACT:** (Máximo 250 palabras)

The purpose of this study was to characterize the climatic conditions of the Baché river basin, using the methodology established by Caldas-Lang, in order to identify the climatic biodiversity of the basin, as well as a detailed climatic analysis of the basin through A series of data of 30 years (1985-2015) where the anomaly was observed in the different meteorological variables like temperature, precipitation and solar brightness, in order to identify the periods in which the ENSO generated some type of anomalous behavior in These are strongly linked to phenomena such as the Child and Child, their intensity and duration during these 30 years of study, in order to support decision making in the planning and integrated management of water resources, Soil and climate in the study area, taking into account the adverse effects on agriculture and food security that these phenomena S cause. The Río Bache hydrographic basin (1168.3 km<sup>2</sup>) is located to the north of the department of Huila, an area where the availability of water resources is a very important issue since the conditions are warm and arid; Finally, through the application of computer tools such as decision trees, different variables were considered that involve the interaction of factors and production processes in coherence with the biophysical, social, economic and cultural environment, in order to generate a mechanism Of agricultural productive order according to the supply and demand of the natural resources in the area of study.



## GESTIÓN SERVICIOS BIBLIOTECARIOS

### DESCRIPCIÓN DE LA TESIS Y/O TRABAJOS DE GRADO



CÓDIGO

AP-BIB-FO-07

VERSIÓN

1

VIGENCIA

2014

PÁGINA

4 de 4

#### APROBACION DE LA TESIS

Nombre Presidente Jurado: Jaime Izquierdo Bautista

Firma:

Nombre Jurado: Alfonso Ladino Rincón

Firma:

  
FIRMA DEL JURADO

Nombre Jurado: Felipe Andrés Quimbaya Lasso

Firma:

  
FIRMA DEL JURADO

CARACTERIZACIÓN CLIMÁTICA EN EL CONTEXTO DEL ORDENAMIENTO  
PRODUCTIVO AGRÍCOLA DE LA CUENCA HIDROGRÁFICA RÍO BACHÉ UBICADA  
AL NORTE DEL DEPARTAMENTO DEL HUILA

Autores

Pablo Andrés García Ochoa  
Hernán Javier Castillo Cerón



Universidad Surcolombiana  
Facultad de Ingeniería  
Programa de Ingeniería Agrícola  
Neiva-Huila  
2017

CARACTERIZACIÓN CLIMÁTICA EN EL CONTEXTO DEL ORDENAMIENTO  
PRODUCTIVO AGRÍCOLA DE LA CUENCA HIDROGRÁFICA RÍO BACHÉ UBICADA  
AL NORTE DEL DEPARTAMENTO DEL HUILA

Autores

Pablo Andrés García Ochoa  
Hernán Javier Castillo Cerón

Proyecto presentado a la Facultad de Ingeniería como requisito parcial para optar al Título de  
Ingeniero Agrícola

Director

Jaime Izquierdo Bautista  
IA. M.Sc. C-P.hD Manejo Cuencas Hidrográficas

Co-Director

Helmer Alexis Guzmán López  
IA. Espec. C-M.Sc. Ciencias - Meteorología



Universidad Surcolombiana  
Facultad de Ingeniería  
Programa de Ingeniería Agrícola  
Neiva-Huila  
2017

## NOTA DE ACEPTACIÓN

---

---

---

---

---

**Director del Proyecto**

---

**Director del Proyecto**

---

**Jurado**

---

**Jurado**

**Neiva, Marzo de 2017**

## **DEDICATORIA**

### ***PABLO ANDRES GARCIA OCHOA***

*A Dios, por permitirme el haber llegado hasta este momento tan importante de mi formación profesional. A mi madre Hermedis Ochoa por ser el pilar más importante y por demostrarme siempre su cariño y apoyo incondicional. A mi padre Jose García que a pesar de los problemas siempre está conmigo, siempre brindándome su cariño y apoyo. A mis hermanos Alfredo García y Vanessa García por sus palabras de aliento y compañía, siempre son un apoyo incondicional.*

*A ustedes que son lo más importante en mi vida, les dedico este logro y los futuros, ustedes son mi motor de vida. ¡Los Amo!*

### ***HERNAN JAVIER CASTILLO CERON***

*A Dios y la Familia...*

*A mi madre Jael Ceron Valencia, por su esfuerzo, dedicación y apoyo incondicional.*

*A la familia Paredes Ceron, tía Carmen, Tío Fredy y mis primos Fredy Arley, Yury Solangie y Cristian Felipe, gracias por su incondicional apoyo y el acogimiento que me han dado como un miembro más de su familia.*

*A ustedes dedico este gran logro en mi vida, esperando que sean muchos más, gracias por tanto...*

## **AGRADECIMIENTOS**

### **PABLO ANDRES GARCIA OCHOA**

*A Helmer Alexis Guzmán que con su sapiencia, prestancia, paciencia, sencillez y amistad, logró que este proyecto se direccionara de una mejor manera y culminara satisfactoriamente. Sin su colaboración este trabajo hubiera sido más complicado y atenuante, ha sido un privilegio poder contar con su ayuda.*

*A Jaime izquierdo por su colaboración, asesoría y palabras de aliento a lo largo del proyecto.*

*A Jonathan Nogales por su amistad, acompañamiento, y asesoría en partes vitales del proyecto, convirtiéndose en otro director más. Sin duda espero contar con su amistad toda la vida.*

*A mi compañero de Tesis Hernán Javier castillo por todo su esfuerzo y cooperación, que ayudo a la finalización de esta meta.*

*A nuestro profesor y amigo Rodrigo Pachón por su asesoría y decisivo apoyo en este trabajo de grado.*

*A Felipe Quimbaya & Alfonso Ladino, por su colaboración y apoyo durante el desarrollo de este trabajo de grado.*

*A Jonathan Romero y Miguel Ángel Valenzuela por habernos brindado en primera instancia la idea del proyecto de investigación.*

*A mis amigos y compañeros de la universidad, por su amistad y experiencias vividas a lo largo del pregrado.*

### **HERNAN JAVIER CASTILLO CERON**

*A todos y cada uno de los docentes que forjaron este camino, gracias por sus enseñanzas.*

*Al docente y gran amigo Rodrigo Alberto Pachón Bejarano, por sus enseñanzas, sabios consejos, regaños y apoyo en esta etapa de mi vida, gracias por creer siempre en mí, gracias por hacerme un mejor profesional y en especial gracias por hacerme una mejor persona.*

*A mis compañeros de pregrado, en especial a Guissela López, Jonathan Nogales, Alex Andrelly Vásquez, Christian Andrés Rojas, Margarita Ardila, Kelly Johana Cárdenas, Diana Sepúlveda y Juan Daniel Sánchez, gracias por su amistad y el apoyo que me han dado.*

*A mi tía María Ruth Castillo por su apoyo y palabras de aliento durante la carrera.*

*Al docente Jaime Izquierdo Bautista por su aporte y colaboración como director de este proyecto de grado.*

*A Helmer Alexis Guzmán López por su gran aporte y dedicación al proyecto como codirector.*

*A Felipe Quimbaya y Alfonso Ladino, por su dedicación y aportes como jurados del proyecto de grado.*

*A mi compañero de Tesis Pablo Andrés García Ochoa, gracias por su colaboración y dedicación al proyecto*

## TABLA DE CONTENIDO

<b>1. INTRODUCCIÓN</b>	<b>12</b>
<b>2. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA</b>	<b>13</b>
<b>3. OBJETIVOS</b>	<b>15</b>
3.1 OBJETIVO GENERAL	15
3.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS	15
<b>4. JUSTIFICACIÓN</b>	<b>16</b>
<b>5. MARCO REFERENCIAL</b>	<b>17</b>
5.1 EL CLIMA DE HOY Y DEL FUTURO EN EL DEPARTAMENTO DEL HUILA	17
5.2 PRODUCCIÓN AGROPECUARIA Y SEGURIDAD ALIMENTARIA EN EL DEPARTAMENTO DEL HUILA (GOBERNACIÓN DEL HUILA & CAM, 2014)	17
5.3 ORDENAMIENTO DE CUENCAS HIDROGRÁFICAS	18
5.4 ORDENAMIENTO PRODUCTIVO	19
5.5 ÍNDICES CLIMÁTICOS	20
<b>6. METODOLOGÍA</b>	<b>21</b>
6.1 ÁREA DE ESTUDIO	21
6.2 CARACTERÍSTICAS MORFOMÉTRICAS	22
6.6 HIDROCLIMATOLOGÍA	27
6.6.1 LLENADO DE DATOS FALTANTES	27
6.6.2 EVAPOTRANSPIRACIÓN (ALMOROX, 2000)	28
6.6.3 ANÁLISIS EXPLORATORIO DE DATOS	29
6.6.4 CLIMOGRAMAS	31
6.6.5 ANÁLISIS DE LA SERIE DE ÍNDICES ONI VS IP	32
6.6.6 ÍNDICE OCEÁNICO DE EL NIÑO (ONI)	32
6.6.7 ÍNDICE DE PRECIPITACIÓN IP (ANOMALÍA DE PRECIPITACIÓN), (RUIZ, 2012)	33
6.6.8 ANÁLISIS ESPECTRAL	33
6.7 CARACTERIZACIÓN CLIMÁTICA	34
6.7.1 CALDAS LANG	34
6.7.2 C. W. THORNTHWAITE	36
6.7.3 MARTONNE	39
6.7.4 KOPPEN	39
6.8 CONFLICTO DE USO DEL SUELO	40
6.9 ÁRBOL DE DECISIÓN	41
6.9.1 USO Y COBERTURA DEL SUELO	42
6.9.2 COSTE DE DISTANCIA	42
6.9.3 PENDIENTES	43
6.9.4 ELEVACIÓN	43
6.9.5 PRECIPITACIÓN	43
6.9.6 TEMPERATURA	43
6.9.7 TEXTURA DEL SUELO	43
<b>7. RESULTADOS Y DISCUSIÓN</b>	<b>44</b>

<b>7.1 ANÁLISIS MORFOMÉTRICO</b>	<b>44</b>
7.1.1 GEOLOGÍA (IGAC, 1994)	47
7.1.2 GEOMORFOLOGÍA (IGAC, 1994)	47
7.1.3 SUELOS (IGAC, 1994)	48
<b>7.2 ANÁLISIS EXPLORATORIO DE DATOS</b>	<b>49</b>
7.2.1 RED HIDROMETEOROLÓGICA	49
7.2.2 DIAGRAMAS DE CAGA Y BIGOTES (BOX-PLOT)	50
7.2.3 CURVAS DE MASA	52
7.2.4 CORRELACIÓN CRUZADA	53
<b>7.3 CLIMOGRAMAS</b>	<b>54</b>
<b>7.4 ANÁLISIS DE LAS SERIES DE ÍNDICES ONI vs IP</b>	<b>56</b>
<b>7.5 ANÁLISIS ESPECTRAL - FOURIER</b>	<b>59</b>
<b>7.6 ANÁLISIS ESPECTRAL – WAVELET</b>	<b>60</b>
<b>7.7 CONFLICTO DE USO DEL SUELO</b>	<b>62</b>
<b>7.8 CARACTERIZACIÓN CLIMÁTICA</b>	<b>63</b>
7.8.1 CALDAS LANG	63
7.8.2 C. W. THORNTHWAITE	64
7.8.3 MARTONNE	65
7.8.4 KOPPEN	66
<b>7.9 PROPUESTA DE ORDENAMIENTO PRODUCTIVO AGRÍCOLA PARA LA CUENCA HIDROGRÁFICA RÍO BACHÉ Y LOCALIZACIÓN GEOGRÁFICA DE LOS SISTEMAS PRODUCTIVOS DE MAYOR IMPACTO EN LA CUENCA HIDROGRÁFICA RÍO BACHÉ</b>	<b>66</b>
7.9.1 PLANEACIÓN ESTRATÉGICA	66
7.9.2 DOFA – CUENCA HIDROGRÁFICA RÍO BACHÉ	69
7.9.3 FORMULACIÓN PROPUESTA DE ORDENAMIENTO PRODUCTIVO EN LA CUENCA HIDROGRÁFICA RÍO BACHÉ	69
<b><u>8. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES</u></b>	<b><u>72</u></b>
<b><u>9. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS</u></b>	<b><u>74</u></b>
<b><u>10. ANEXOS</u></b>	<b><u>80</u></b>

## INDICE DE TABLAS

<b>Tabla 1.</b> Clasificación de unidades hidrográficas en función del área geométrica .....	22
<b>Tabla 2.</b> Características de la cuenca de acuerdo con el valor $k_c$ .....	23
<b>Tabla 3.</b> Porcentaje de datos faltantes de cada variable meteorológica por estación..	27
<b>Tabla 4.</b> Límites expuestos por Caldas .....	34
<b>Tabla 5.</b> Límites expuestos por Lang .....	34
<b>Tabla 6.</b> Tipos de clima según Caldas-Lang .....	35
<b>Tabla 7.</b> Clasificación del índice global de humedad según Thornthwaite .....	37
<b>Tabla 8.</b> Clasificación de la Variación Estacional de la Humedad según Thornthwaite .	38
<b>Tabla 9.</b> Clasificación del Índice de Eficiencia Térmica según Thornthwaite.....	38
<b>Tabla 10.</b> Clasificación Concentración Estival de la Eficiencia Térmica según Thornthwaite .....	39
<b>Tabla 11.</b> Zonas climáticas definidas por Martonne .....	39
<b>Tabla 12.</b> Tipos de clima principales según la Clasificación Climática de Köppen .....	40
<b>Tabla 13.</b> Codificación Booleana para el uso y cobertura del suelo .....	42
<b>Tabla 14.</b> Codificación Booleana del coste distancia .....	42
<b>Tabla 15.</b> Codificación Booleana de la distancia Euclidiana (Coste) .....	43
<b>Tabla 16.</b> Longitudes de la red de drenaje .....	46
<b>Tabla 17.</b> Tiempos de concentración .....	46
<b>Tabla 18.</b> Distribución de las clases de suelos y ocupación en la cuenca hidrográfica del Río Baché .....	49
<b>Tabla 19.</b> Estaciones meteorológicas del IDEAM en la zona de estudio.....	50
<b>Tabla 20.</b> Consenso para clasificación de diferentes fases del ENSO según índices ONI, MEI y SOI.....	61
<b>Tabla 21.</b> Matriz DOFA - Cuenca Hidrográfica Río Baché.....	69
<b>Tabla 22.</b> Propuesta productiva en la cuenca hidrográfica Río Baché.....	70

## INDICE DE FIGURAS

<b>Figura 1.</b> Ubicación Geográfica de algunos de los índices climáticos .....	20
<b>Figura 2.</b> Cuenca Hidrográfica Río Baché .....	21
<b>Figura 3.</b> Diagrama de Caja y Bigotes .....	30
<b>Figura 4.</b> Representación gráfica Curva Masa precipitación.....	31
<b>Figura 5.</b> Climograma .....	32
<b>Figura 6.</b> Índice oceánico del Niño (ONI).....	32
<b>Figura 7.</b> Estructura del árbol de decisión para el cultivo de arroz.....	41
<b>Figura 8.</b> Perfil Longitudinal del Cauce Principal .....	44
<b>Figura 9.</b> Curva Hipsométrica .....	45
<b>Figura 10.</b> Perfil de la cuenca .....	45
<b>Figura 11.</b> Diagrama de caja y bigotes de las 7 estaciones en el área de estudio .....	50
<b>Figura 12.</b> Diagrama de caja y bigotes para la estación Aeropuerto Benito Salas.....	51
<b>Figura 13.</b> Curvas de masa para todas las estaciones de la zona de estudio.....	52
<b>Figura 14.</b> Correlación cruzada para todas las estaciones de la zona de estudio.....	53
<b>Figura 15.</b> Climogramas para todas las estaciones de la zona de estudio .....	54
<b>Figura 16.</b> Series de los índices de precipitación (IP) para las diferentes estaciones climatológicas de la cuenca Hidrográfica del Río Baché (Línea gris), comparada con la secuencia del índice del niño oceánico. ....	58
<b>Figura 17.</b> Periodogramas .....	59
<b>Figura 18.</b> Análisis espectral Wavelet para todas las estaciones de la zona de estudio	60
<b>Figura 19.</b> Clasificación Climática de Caldas Lang .....	63
<b>Figura 20.</b> Caracterización Climática de Thornthwaite .....	64
<b>Figura 21.</b> Caracterización Climática de Martonne .....	65
<b>Figura 22.</b> Caracterización Climática de Koppen.....	66
<b>Figura 23.</b> Zonas aptas y no aptas para la producción agrícola .....	67
<b>Figura 24.</b> Caracterización Climática de Caldas Lang y distribución espacial para el cultivo de arroz .....	68
<b>Figura 25.</b> <i>Diagrama Propuesta de Ordenamiento Productivo</i> .....	70

## INDICE DE ECUACIONES

<b>Ecuación 1.</b> Coeficiente de Sinuosidad.....	22
<b>Ecuación 2.</b> Densidad de la red hidrográfica.....	22
<b>Ecuación 3.</b> Densidad de la red hidrográfica (2) .....	23
<b>Ecuación 4.</b> Ancho medio de la Cuenca .....	23
<b>Ecuación 5.</b> Coeficiente de forma. ....	23
<b>Ecuación 6.</b> Coeficiente de compacidad. ....	23
<b>Ecuación 7.</b> Altura promedio ponderada del cauce.....	23
<b>Ecuación 8.</b> Pendiente promedio del cauce principal.....	24
<b>Ecuación 9.</b> Altura promedio ponderada de la cuenca .....	24
<b>Ecuación 10.</b> Pendiente promedio ponderada de la cuenca. ....	24
<b>Ecuación 11.</b> Profundidad de disección de la cuenca. ....	25
<b>Ecuación 12.</b> Nivel de disección del relieve. ....	25
<b>Ecuación 13.</b> Tiempo de Concentración por Kirpich. Fuente: (Wanielista 1997) .....	25
<b>Ecuación 14.</b> Tiempo de concentración por Temez. Fuente (Chow 1994) .....	25
<b>Ecuación 15.</b> Tiempo de Concentración por Giandotti. Fuente: (Chow 1994) .....	25
<b>Ecuación 16.</b> Tiempo de Concentración por Dirección General de Carreteras. Fuente: (Chow 1994).....	25
<b>Ecuación 17.</b> Tiempo de Concentración por Bransby–Williams. Fuente: (Velez & Botero 2010).....	25
<b>Ecuación 18.</b> Tiempo de Concentración por California Culvert Practice. Fuente: (Vélez & Botero 2010).....	26
<b>Ecuación 19.</b> Tiempo de Concentración por Clark. Fuente: (Vélez & Botero 2010) .....	26
<b>Ecuación 20.</b> Tiempo de Concentración por Johnstone Cross. Fuente: (Vélez & Botero 2010).....	26
<b>Ecuación 21.</b> Tiempo de Concentración por Método Racional Generalizado. Fuente: (Vélez & Botero 2010) .....	26
<b>Ecuación 22.</b> Tiempo de Concentración por Kerby Hathaway. Fuente: (Vélez & Botero 2010).....	26
<b>Ecuación 23.</b> Tiempo de Concentración por Passini Fuente: (Vélez & Botero 2010) ....	26
<b>Ecuación 24.</b> Tiempo de Concentración por Pérez Fuente: (Vélez & Botero 2010) .....	26
<b>Ecuación 25.</b> Tiempo de Concentración por Pilgrim y McDermott. Fuente: (Vélez & Botero 2010).....	26
<b>Ecuación 26.</b> Tiempo de Concentración por Valencia y Zuluaga. Fuente: (Vélez & Botero 2010).....	26
<b>Ecuación 27.</b> Valor de interpolación .....	27
<b>Ecuación 28.</b> Pesos del factor de interpolación .....	27
<b>Ecuación 29.</b> Factor de normalización .....	28
<b>Ecuación 30.</b> Método de la razón normal .....	28
<b>Ecuación 31.</b> Evapotranspiración potencial sin ajustar.....	28
<b>Ecuación 32.</b> Índice de calor mensual.....	28
<b>Ecuación 33.</b> Coeficiente de forma. ....	29
<b>Ecuación 34.</b> Evapotranspiración potencial ajustada. ....	29
<b>Ecuación 35.</b> Factor de corrección para evapotranspiración.....	29
<b>Ecuación 36.</b> Valor mínimo de la serie .....	30
<b>Ecuación 37.</b> Valor máximo de la serie .....	30
<b>Ecuación 38.</b> Rango Intercuartilico.....	30

<b>Ecuación 39.</b> Valores atípicos .....	30
<b>Ecuación 40.</b> Valores atípicos .....	30
<b>Ecuación 41.</b> Curva de masa .....	31
<b>Ecuación 42.</b> Índice de precipitación.....	33
<b>Ecuación 43.</b> Transformada de Wavelet .....	33
<b>Ecuación 44.</b> Ecuación general Clasificación Climática por Thornthwaite.....	36
<b>Ecuación 45.</b> Déficits mensuales de agua .....	36
<b>Ecuación 46.</b> Excedentes mensuales de agua .....	36
<b>Ecuación 47.</b> Índice de humedad .....	37
<b>Ecuación 48.</b> Índice de aridez .....	37
<b>Ecuación 49.</b> Índice global de humedad.....	37
<b>Ecuación 50.</b> Índice global de humedad (2) .....	37
<b>Ecuación 51.</b> Índice de aridez de Martonne.....	39

## 1. INTRODUCCIÓN

El análisis de las condiciones climáticas y fenómenos de variabilidad climática son factores relevantes en la gestión integral del recurso hídrico de una cuenca hidrográfica, siendo un factor determinante en las condiciones ambientales de la misma. Los parámetros meteorológicos como la precipitación o la temperatura definen un clima particular de una región determinada, por lo tanto, es importante conocer no solo la distribución anual y estacional de los diferentes parámetros meteorológicos, sino analizar con énfasis especial algunos como la temperatura y las precipitaciones, dada la incidencia directa de estos en las actividades humanas, en este caso particular referidas a las actividades agrícolas presentes en una cuenca hidrográfica (Carbone, 2003).

En el caso de estudio, la cuenca hidrográfica del río Baché, actividades como la expansión de la frontera agrícola, la tala de árboles, la sobre explotación de suelos y el mal uso del recurso hídrico señalan un alto impacto de origen antrópico sobre el área geográfica de la cuenca y esta problemática es cada vez más preocupante, aun cuando se sabe que de este recurso depende gran parte de las actividades económicas de los municipios de Aipe, Neiva, Palermo, Santa María y Teruel en el departamento del Huila (CAM, 2010).

No obstante, es de gran importancia tener en cuenta, los análisis de todas las variables meteorológicas, desde su comportamiento a nivel anual y mensual, hasta distribuciones horarias para cada mes; de esta manera, se obtendrá un amplio conocimiento de los elementos, variables y fenómenos, los cuales serán de gran trascendencia y aporte para la obtención de indicadores o tendencias de las condiciones del tiempo y del clima con mayor aproximación. De esta manera, es posible encontrar diferentes estudios que analizan el cambio en el régimen anual de lluvias y de las temperaturas de la atmosfera superficial, condiciones que permite analizar el impacto sobre la relación agua-suelo-planta-atmosfera (IDEAM, 2007). Las variaciones en esta relación y el rol de la dinámica climática actual sobre la precipitación influyen en la sostenibilidad ecosistémica, y en ello radica la importancia de conocer y comprender las características climáticas de una zona.

Este proyecto pretende mostrar una alternativa de ordenamiento productivo agrícola a nivel de cuenca mediante el uso de variables como el clima (Precipitación – Temperatura – Brillo solar), suelo y agua, que permita simular el manejo adecuado de los recursos existentes e influyentes en el comportamiento, identificación y posterior delimitación de las zonas aptas para el desarrollo de los distintos sistemas de producción agrícola en esta zona, teniendo en cuenta que el buen desarrollo agrícola permite generar una mayor cantidad de productos y con ello garantizar un alto grado de sostenibilidad ambiental, permitiendo así generar un mecanismo de ordenamiento productivo agrícola acorde a la oferta y demanda de los recursos naturales en el área de estudio.

## 2. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

Los cambios en la estacionalidad, frecuencia, intensidad y duración de eventos extremos (inundaciones, ciclones tropicales, olas de calor, sequías prolongadas, entre otras) son asociadas a los fenómenos de variabilidad y cambio climático que en la actualidad se presentan (Marvin et. al., 2013). A nivel mundial, estos fenómenos provocan impactos en los diferentes sectores económicos, especialmente en los países en vías de desarrollo los cuales presentan mayor vulnerabilidad, menor resiliencia en su población y riesgos en su seguridad alimentaria (Fernández, 2013).

El sector agropecuario es uno de los sectores más vulnerables al cambio climático y fenómenos variabilidad climática, la adaptación del sector es un imperativo para la región andina. Los efectos del cambio climático durante las últimas décadas se han reflejado en la recurrencia y severidad de desastres de origen meteorológicos. Durante los últimos 37 años, el 71% del total de registros de desastres locales reportados han estado asociados a fenómenos climáticos, en particular con eventos tales como inundaciones y deslizamientos sobre toda la región Andina (Alianza Clima y Desarrollo, 2012).

Análisis desarrollados por la FAO (2016) identificaron durante el período comprendido entre 1980 y 2008 un descenso del 5,5 % en la producción de trigo y del 3,8% en la de maíz a escala mundial, en comparación con los rendimientos que se habrían obtenido si el clima se hubiera mantenido estable. Estas alteraciones afectan directamente las actividades agrícolas, pecuarias y pesqueras, así como la producción y sustentabilidad económica de la región (Bernal, 2010).

Latinoamérica no es ajena a la actual dinámica climática y en países como Ecuador se evidencian como las variaciones climáticas han incidido en la producción agrícola, sobre todo en cultivos específicos de maíz, arroz, banano y caña de azúcar con caídas sucesivas en sus rendimientos, especialmente en los años donde se presentó el fenómeno de El Niño (Jiménez et. al., 2012). En regiones de países ecuatoriales, los fenómenos asociados a la variabilidad climática predominan sobre los del cambio climático (Bedoya, 2010). Los países localizados en la zona ecuatorial, como Colombia, están bajo la influencia de la Zona de Confluencia Intertropical (ZCIT), que afectan las condiciones climáticas del país (Hurtado, 2010).

En Colombia, la variabilidad climática y el cambio climático ocasionan frecuentes anomalías en la precipitación que impactan fuertemente la sociedad y los sectores productivos (Sedano, 2012; Carvajal, 2012), debido principalmente a sequías e inundaciones (Quintero, 2012). Fernández (2013) mostró los efectos de las anomalías climáticas asociadas al fenómeno El Niño sobre la producción de papa en el altiplano cundiboyacense, otros estudios referentes para el cultivo de café (Baldión-Rincón, 1994; Guzmán-Martínez, 1997) y para la palma africana (Cadena et. al., 2006), entre otros (Soto, 2012) han concluido la vulnerabilidad de estos cultivos a la variabilidad climática.

El departamento del Huila ha tenido una vocación agropecuaria por tradición, acorde a sus condiciones agroecológicas y fisiográficas en todo su territorio, manejando una amplia gama de cultivos en diferentes pisos térmicos (Gobernación del Huila, 2007). No obstante, varias zonas que se cultivan en el departamento, son vulnerables al cambio climático debido a un posible déficit de agua y mayor evapotranspiración. El 64% del área cultivada en el Huila, especialmente la zona norte del departamento se encuentran áreas susceptibles al proceso de desertificación (Renzonni, 2009) estando categorizado como una zona Muy Alta Vulnerabilidad el departamento del Huila (Programa Mundial de Alimentos, 2014).

En este contexto, es de gran importancia seguir desarrollando diferentes estudios orientados en comprender de una forma más integral el impacto de los fenómenos climáticos en el sector agrícola del departamento del Huila, para la articulación de estrategias de adaptación y mitigación ante estos fenómenos y el uso sostenible de los recursos naturales en el marco de la productividad

y seguridad alimentaria, como ha sido previsto en el Plan Huila 2050, donde se abordan una serie de programas y líneas estratégicas en el marco del uso sostenible de los recursos naturales en un clima cambiante.

Asociado a lo anterior, el ordenamiento productivo en Colombia debe enfocar su planificación considerando el uso eficiente de los recursos naturales en el marco de la agricultura de precisión, enfocado en el fortalecimiento de la economía campesina y en un sector competitivo (UPRA, 2015). El presente estudio, busca analizar y comprender el impacto de la variabilidad climática en una cuenca hidrográfica del departamento del Huila y desarrollar una primera aproximación de una propuesta de ordenamiento productivo para la cuenca, considerando diferentes componentes esenciales para las actividades agrícolas (agua, suelo y clima), apoyado en herramientas informáticas que generen insumos para el apoyo en la toma de decisiones. En concordancia con lo anterior, es pertinente plantear la siguiente pregunta de investigación:

¿Cuáles son los elementos climáticos que se pueden considerar para un ordenamiento productivo sostenible?

¿Cuál es el impacto de la dinámica climática actual y los fenómenos de variabilidad climática que inciden en la cuenca hidrográfica del río Baché?

### **3. OBJETIVOS**

Para dar respuestas a las preguntas de investigación planteadas en el capítulo anterior, se dimensionaron una serie de objetivos que se detallan a continuación:

#### **3.1 Objetivo General**

Caracterizar las condiciones climáticas de la cuenca hidrográfica del río Baché en el contexto del ordenamiento productivo agrícola.

#### **3.2 Objetivos Específicos**

- Analizar descriptivamente la información y bases de datos relacionadas con los recursos agua, suelo y clima de la cuenca hidrográfica del río Baché.
- Caracterizar la climatología de la cuenca hidrográfica del río Baché con diferentes métodos, en el contexto de la variabilidad climática.
- Desarrollar una propuesta de ordenamiento productivo agrícola, acorde con la oferta y demanda actual de los recursos naturales en la cuenca del río Baché.

#### 4. JUSTIFICACIÓN

Los nuevos retos de la sociedad, están direccionados al uso eficiente de los recursos naturales en los diferentes sistemas de producción, que se ven afectados a una mayor ocurrencia e intensidad de los fenómenos meteorológicos, con climas más secos o húmedos acorde con la dinámica climática actual. Que repercutirán indirectamente sobre la economía, el medio ambiente y las decisiones políticas en un futuro cercano enfocado en la planeación de los territorios, sectores e instituciones en un largo plazo (Carrizosa, 2012).

Actualmente el país se ha visto afectado por los impactos generados a partir de los fenómenos de variabilidad climática interanual (ENSO), los cuales han provocados sequías extremas y lluvias intensas que afectan de manera directa los sistemas productivos agropecuarios. El conocimiento del clima, de fenómenos como la variabilidad climática y el cambio climático dan las bases para prepararse ante el desarrollo de eventos climáticos que afecten todo tipo de actividades productivas, como es el sector agropecuario (Pabón, 2004).

FEDESARROLLO (2015) afirma que la producción agrícola en el departamento del Huila representa casi el 80% del PIB agropecuario, donde se destaca específicamente el cultivo de café que representa casi el 50 % del PIB agrícola departamental y del que es el primer productor nacional. El Huila es también un productor importante de cultivos como arroz, lulo, pitahaya, frijol y tabaco rubio. Asociado a lo anterior, en la zona norte el departamento del Huila se desarrolla una producción agrícola intensiva, encontrando su principal limitación en la disponibilidad de recurso hídrico, considerando que en esta zona se localizan cuencas hidrográficas de gran importancia, como es el caso de la cuenca del río Baché (Izquierdo, 2007).

Anteriormente las cuencas hidrográficas eran concebidas únicamente como límites geoespaciales, sin considerar su potencial regulador sobre los recursos naturales, la oferta de sus servicios ecosistémicos y la integralidad sociocultural de las regiones (Morales, 2015). El ordenamiento de una cuenca es de vital importancia para planificar el uso y manejo de los recursos naturales renovables, con el fin de mantener un equilibrio entre el aprovechamiento económico y la conservación de la estructura físico-biótica de la cuenca (CAM, 2011).

Acorde con la dinámica climática y los fenómenos de variabilidad que generan cambios en las condiciones predominantes del clima, en la oferta hídrica y demás servicios ecosistémicos en una cuenca hidrográfica, es importante comprender el impacto de los fenómenos meteorológicos y las estrategias de adaptación del sector agropecuario a los mismos. En este sentido, el presente estudio tiene como finalidad identificar acorde con diferentes metodologías la caracterización climática de la cuenca del río Baché que abarca los municipios de Santa María, Palermo, Neiva y Aipe en el departamento del Huila y así desarrollar en una primera aproximación una propuesta de ordenamiento productivo considerando el componente climático, la oferta del recurso hídrico y las características edafológicas presente en la cuenca, para generar información que sirva como base para el apoyo en la toma de decisiones por parte de los entes territoriales y demás entidades en el marco de una agricultura climáticamente inteligente.

## 5. MARCO REFERENCIAL

### 5.1 El Clima de Hoy y del Futuro en el Departamento del Huila

El departamento cuenta con una amplia variedad de climas debido a la diversidad de pisos térmicos y a la interacción de factores tales como la temperatura, la luminosidad solar, la pluviosidad, la humedad relativa y los vientos; de manera que de la superficie departamental un 28,3% corresponde a clima cálido, el 40% a clima medio, el 23,2% a clima frío y un 8,6% a clima muy frío (CAM, 2011). El Huila al igual que el resto del país, ha tolerado eventos climáticos, incluyendo fenómenos del ENSO cada vez más frecuentes, que han empezado a generar preocupaciones en torno al desarrollo departamental, la competitividad y el clima.

Proyectar el clima del futuro y su variabilidad es una tarea que presenta cierta incertidumbre, según el último informe del Panel Intergubernamental de Cambio Climático (IPCC, 2014), el objetivo que han marcado los científicos para que las temperaturas no se incrementen más allá de 2 °C respecto del nivel previo a la industrialización es posible, sin embargo es muy difícil de lograr. Los expertos del IPCC señalan que solo si a partir de ahora en el mundo se diera un cambio institucional y tecnológico importante habría más de 50% de probabilidad de que el calentamiento global no supere ese umbral y se rehúsan a aportar una cifra concreta más allá de la ya estimada, pero alertan que “La ciencia nos transmite un mensaje claro: para evitar interferencias peligrosas en el sistema climático, no podemos seguir con el “status quo” (Edenhofer, 2014).

Según el IDEAM (2010) con base en el modelo Providing Regional Climate for Impact Studies (PRECIS por sus siglas en inglés que traduce “Proveyendo Climas Regionales para Estudios de Impacto”), y utilizando los escenarios mundiales de emisiones del Informe Especial sobre Escenarios de Emisiones (SRES por sus siglas en inglés) del IPCC (SRES A2 y SRES B2) para tres periodos: 2011 a 2040; 2041 a 2070 y 2071 a 2100; como resultado de estas proyecciones se prevé para el año 2040 que el Huila presentará un aumento de 2 °C en la temperatura media y una reducción en la precipitación hasta el 30% y aunque es difícil de observar a esta escala, las proyecciones de temperatura para dicho año incluyen un nuevo rango de 26-28°C como temperatura media.

De acuerdo con lo anterior, los municipios del departamento del Huila podrían presentar aumento de temperatura como también registrar reducciones significativas en precipitación; por lo tanto se requiere que las autoridades territoriales entiendan el presente y el futuro del agua frente al clima para poder actuar de manera oportuna con el fin de asegurar su disponibilidad futura (Gobernación del Huila, 2014).

### 5.2 Producción Agropecuaria y Seguridad Alimentaria en el Departamento del Huila (Gobernación del Huila & CAM, 2014)

En la actualidad la seguridad alimentaria se ve amenazada por las tendencias económicas, tanto locales como regionales, por el aumento en el uso de los recursos naturales y el cambio climático. En este contexto y debido a que a seguridad alimentaria está íntimamente ligada a la estabilidad de los ecosistemas y los servicios que éstos proveen; el sector agrícola deberá enfocarse a un manejo más sostenible de los recursos naturales en el marco de un clima cambiante con variaciones en la precipitación y en el aumento de la temperatura (CAM, 2014).

En términos territoriales, el 53% del departamento está dedicado a la producción agrícola, con más de un millón de hectáreas destinadas a las actividades agropecuarias (ONF ANDINA, 2014). Según cifras del FEDESARROLLO (2015), el sector agropecuario contribuye con cerca del 80% del PIB del Huila, del cual un 46 % proviene del rubro cafetero; por consiguiente, el café es el rubro más importante en la economía agrícola del departamento con 129.152 ha de cafetales, siendo hoy el de mayor área sembrada en Colombia. Cabe destacar que el sector cafetero ha

venido cambiando su método de producción tradicional basado en cultivos de sombra por variedades que, además de no requerir este tipo de cobertura, ofrecen mayor resistencia fitosanitaria, se cultivan en áreas de mayor densidad, producen más cantidad, a la vez que generan un gran impacto ambiental y de biodiversidad en el territorio cafetero. Sin embargo, actualmente la Federación Nacional de Cafeteros, a través de sus comités departamentales, ha comenzado a promover la renovación de cultivos regresando a las variedades tradicionales de menor cantidad productiva, pero de mayor calidad, a fin de suplir las demandas de un mercado creciente de cafés gourmets y con mejores perspectivas para adaptarse a los cambios climáticos en las zonas de producción.

Después del café, la ganadería es el segundo renglón más importante de la economía agropecuaria del departamento, en su mayoría extensiva y de doble propósito, con 740.000 ha y más de 400.000 cabezas de ganado vacuno. El café y la ganadería se vieron altamente afectados por la ola invernal de 2010-2011 y han mostrado ser sensibles a variaciones en el clima, sea por la sequía, que los debilita, o por el exceso de lluvias, generando condiciones propicias para enfermedades y plagas. Estos dos sectores económicos ocupan cerca del 80% del área total agropecuaria por lo que su buen manejo es crucial para el aprovechamiento sostenible del territorio huilense.

Otro cultivo muy importante es el fríjol, cuya producción en el departamento es la más alta del país; sin embargo, el fríjol ha tenido problemas de sequías y, en épocas más húmedas, de hongos y plagas, reduciendo su productividad y rentabilidad, por lo que se requieren registros climáticos confiables y alertas tempranas accesibles para poder reaccionar en forma oportuna a los problemas señalados.

También es de gran importancia el arroz, pues el departamento figura como el segundo productor a nivel nacional, aunque su principal desafío consiste en reducir el alto costo de producción para hacerlo más competitivo que el arroz importado. Los arroceros son consumidores sustanciales del recurso hídrico, sin embargo, actualmente no existen cifras confiables sobre las cantidades consumidas, ni una presión o incentivo suficientes para incentivar un uso más eficiente. En épocas de sequías extremas los arroceros han tenido dificultades para acceder a una cantidad suficiente de agua para sus sistemas de riego y para mantener rendimientos económicamente rentables por hectárea.

Así mismo, los frutales están cobrando una mayor importancia al igual que los cultivos hortícolas, los cuales se consideran como rubros prometedores para el futuro de la economía huilense. Cabe destacar la producción de lulo, maracuyá, cholupa y granadilla (Pasifloras), cultivos que tienen extensiones menores pero cuentan con huellas ecológicas importantes, sobre todo debido al uso de madera para los soportes, el uso de agroquímicos y la expansión de las áreas de producción (frontera agrícola) en zonas de bosques andinos y alto-andinos generadores de agua.

Los productores mencionados (café, arroz, fríjol, frutas) no tienen acceso a información climatológica, y responden al clima y a las variables climáticas en base a sus propias experiencias y percepciones. El sector cafetero, consciente de esta problemática, está desarrollando un programa piloto para establecer una red de estaciones meteorológicas que alimenten un sistema de información climática y alertas tempranas para caficultores, lo cual forma parte integral de este plan. Potenciar esta red climática y hacerla accesible a todos los agricultores huilenses (además de los caficultores) es una de las prioridades para asegurar una agricultura resiliente al cambio climático y adaptada al clima del futuro.

### **5.3 Ordenamiento de Cuencas Hidrográficas**

Castaño (2003), definió el ordenamiento de cuencas como “el proceso de planificación sistémico, previsorio, continuo e integral, conducente al uso y manejo sostenible de los recursos naturales y condiciones de una cuenca, de manera que se mantenga o restablezca un adecuado equilibrio entre

el aprovechamiento social y económico de tales recursos y la conservación de la estructura y función físico biótica de la cuenca”, enfatizando que “la ordenación así concebida constituye el marco para planificar el uso sostenible de la cuenca y la ejecución de programas y proyectos específicos dirigidos a aprovechar adecuadamente, conservar, preservar, prevenir el deterioro y restaurar la cuenca hidrográfica”.

El ordenamiento de cuencas hidrográficas busca orientar el uso de los recursos naturales renovables para armonizar la conservación de la cuenca con el aprovechamiento económico de estos recursos. Para establecer las relaciones entre el ordenamiento de las cuencas y el ordenamiento territorial, es imprescindible reconocer que los recursos naturales y en particular los recursos hídricos están claramente asociados al territorio. En esta dirección, la planeación del uso y manejo sostenible de los recursos hídricos, mediante concesiones y permisos, está indisolublemente asociado con el ordenamiento del territorio y con el uso equitativo y racional del suelo (Rudas, 2005).

Gómez y García (2006), señalan que el propósito de la ordenación de cuencas hidrográficas es mantener o restablecer un adecuado equilibrio entre el aprovechamiento económico de los recursos naturales y la conservación de la estructura físico-biótica de la cuenca y particularmente de sus recursos hídricos. La importancia del ordenamiento territorial radica en la perspectiva de orientar y regular los procesos de utilización y ocupación del espacio (planificación del uso de la tierra) en base a la aptitud del suelo, mediante la distribución y localización ordenada de las actividades y usos del territorio, en armonía con el medio ambiente, la agricultura sostenible y en concordancia con el desarrollo humano (CINFA, 2003).

#### **5.4 Ordenamiento Productivo**

La UPRA (2014), considera el Ordenamiento Productivo como “un proceso participativo de planificación multisectorial, de carácter técnico, administrativo y político, que busca a través de sus instrumentos contribuir al uso sostenible del territorio con el propósito de mejorar la productividad agropecuaria, la seguridad alimentaria y la competitividad local, regional, nacional e internacional bajo principios de responsabilidad social y ambiental”.

Entre los problemas centrales del ámbito rural, se incluyen la persistencia de la pobreza y la desigualdad social, las brechas regionales y sectoriales, y la inseguridad alimentaria. Entre los desafíos está el de superar la dicotomía de lo urbano-rural, la importancia de los recursos naturales y los servicios ambientales que provee, la transformación de la institucionalidad rural, el manejo del postconflicto, la evolución de los mercados, las políticas de reconversión productiva de los sectores no sostenibles, el auge de nuevas tecnologías de información y comunicación, y la generación de estadísticas sólidas para la toma de decisiones de política agropecuaria, entre otros (Banco Mundial, 2014).

Bajo el contexto anterior, el ordenamiento productivo debe tomar en cuenta la heterogeneidad del territorio nacional, de manera que los componentes de los planes de ordenamiento productivo sean coherentes con las problemáticas y la identidad cultural, social, ambiental de los territorios y los lineamientos de política del país. En este mismo sentido, los procesos del ordenamiento productivo deben ser legítimos, es decir, que reconozcan la identidad de los territorios y la participación ciudadana. (UPRA, 2014).

El ordenamiento productivo rural, frente al predominio del ordenamiento urbano debe proyectar espacialmente una distribución que armonice con los demás sectores (ambiental, minero, transporte, etc.) y una política de desarrollo rural con la capacidad para coordinar las políticas macroeconómicas con las políticas sectoriales (UPRA, 2014).

## 5.5 Índices Climáticos



*Figura 1. Ubicación Geográfica de algunos de los índices climáticos  
Fuente: Jiménez (2012).*

Un índice climático es un valor que puede ser usado para describir el estado y los cambios en el sistema climático (**Figura 1**). El clima de un sitio en particular es el estado promedio de la atmósfera durante un periodo prolongado de tiempo por lo que los cambios en el clima son mucho más lentos que los del estado del tiempo ya que éste puede cambiar bruscamente día con día. Los primeros índices climáticos se definieron hace aproximadamente un siglo, como es el caso de la Oscilación del Atlántico Norte (NAO, por sus siglas en inglés), el primer patrón de teleconexión detectado. Los índices climáticos permiten realizar análisis estadísticos tales como la comparación de series de tiempo, la estimación de medias y la identificación de valores extremos y tendencias (Jiménez 2012).

Los índices utilizados para evaluar la presencia y magnitud de El Niño y La Niña son el SOI, el MEI y el ONI.

SOI (Índice de oscilación del sur) Este valor se calcula desde el siglo XIX y es la diferencia entre la presión atmosférica estandarizada, medida al nivel del mar, entre Tahití y Darwin, que se presenta debido al efecto de subibaja que se presenta en el Pacífico Ecuatorial. Los valores negativos de la diferencias de presión sin normalizar menores a -8 indican los episodios El Niño, en tanto que los valores positivos mayores a 8 son típicos de La Niña<sup>5</sup>; sin embargo, cuando los datos son normalizados los valores límite son -0.5 y 0.5 Indicador basada en la presión atmosférica. (Jiménez, 2012).

MEI (Índice Multivariado ENSO) Este índice puede ser entendido como la media ponderada de seis variables sobre el Pacífico tropical, a saber: presión atmosférica a nivel del mar, componente zonal (este-oeste) y meridional (norte-sur) del viento en superficie, temperatura de la superficie del mar, temperatura del aire en superficie, y cantidad total de nubosidad. Los valores positivos del MEI representan la fase caliente de ENSO (El Niño). (Giraldo, 2011).

ONI (Índice Oceánico Niño) Índice de El Niño oceánico mensual. Es una serie de tiempo elaborada a partir de las anomalías de la temperatura superficial marina reconstruidas por la NOAA a partir de datos medidos in situ, en la región El Niño 3.4 Se describió en la sección dedicada a los índices basados en la temperatura superficial marina (Jiménez, 2012).

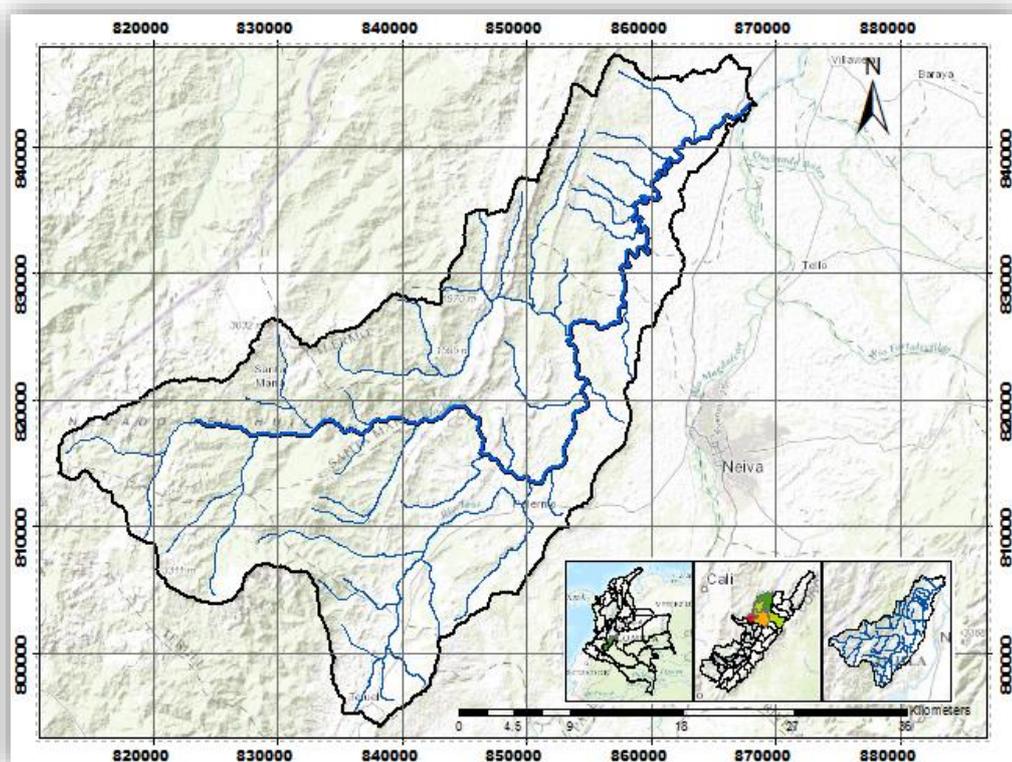
## 6. METODOLOGÍA

### 6.1 Área de estudio

El área seleccionada para el estudio, es la cuenca hidrográfica del río Baché (**Figura 2.**) localizada en la zona norte del departamento, la cual es de gran importancia socio-ambiental para la comunidad de la región. La cuenca presenta un extenso territorio, que abarca espacios de los municipios de Aipe, Neiva, Palermo, Santa María y Teruel (Huila). Según el sistema de información ambiental (SIA), cuenta con un área total aproximada de 116828.33 hectáreas.

Su ubicación general según la Corporación Autónoma del Alto Magdalena (CAM, 2013), corresponde a las coordenadas planas X: 838.177.75 – 871.770.87 y Y: 795.304.17 – 853.286.81, EPSG: 3116: Magna Colombia Bogotá. Se localiza al noroccidente del departamento del Huila, en el flanco oriental de la cordillera Central; limitando: al noroccidente con la cuenca del río Aipe; al nororiente con la cuenca de Fortalecillas Villavieja, la cual está separada por un tramo del río Magdalena; al sur con la cuenca del río Yaguará; al sur-occidente con la cuenca del río Pérez y al occidente con el municipio de Planadas, departamento del Tolima, en inmediaciones al parque natural Nevado del Huila.

El punto más alto de la cuenca, dentro del municipio de Aipe se encuentra a 1.500 msnm en el cerro Chiflón entre las veredas Potreritos y El Tesoro. Su punto más bajo se encuentra localizado en la desembocadura del río Baché a 400 msnm.



**Figura 2.** Cuenca Hidrográfica Río Baché  
Fuente: NASA (2016), editado por García O. & Castillo H.

## 6.2 Características Morfométricas

Para caracterizar morfométricamente la cuenca hidrográfica del río Baché se utilizó como insumo un modelo de elevación digital (MED) obtenido de Alaska Satellite Facility del servidor Alos Palsar, con una resolución de 12.5 metros e información cartográfica del IGAC, estos procesos se llevaron a cabo mediante operaciones de análisis espacial usando el software ArcGis 10.3 (Licencia proporcionada por la Universidad Surcolombiana) y programación en versión de prueba de Matlab.

A continuación, se detallan las métricas morfométricas calculadas.

### \* Longitud del cauce principal $L_t$ ,

Es la distancia del recorrido que hace el cauce principal desde su nacimiento hasta su desembocadura medida en kilómetros; usualmente  $L_t$  presenta un grado de sinuosidad, el cual se representa a través del coeficiente de sinuosidad  $K_s$  que constituye la relación entre la distancia total configurada por el recorrido de la corriente  $L_t$ , sobre la distancia lineal  $L_l$  desde el nacimiento hasta la desembocadura (Girón, Domínguez y Ruiz, 2016).

$$K_s = L_t/L_l.$$

*Ecuación 1. Coeficiente de Sinuosidad*

*Fuente: (Nogales & Salazar, 2016)*

### \* Área aferente de la cuenca

Es el territorio sobre el que yace el cauce principal y del cual recolecta sus aguas, y se mide en kilómetros cuadrados.

*Tabla 1. Clasificación de unidades hidrográficas en función del área geométrica*

Área (Km <sup>2</sup> )	Unidad hidrológica
<5	Unidad
5-20	Sector
20-100	Microcuenca
100-300	Subcuenca
>300	Cuenca

*Fuente: (Reyes, Barroso & Carvajal 2010)*

### \* Densidad de la red hidrográfica $D$

Expresa la longitud de red correspondiente a un área unitaria en kilómetros cuadrados. Se define como:

$$D = \frac{\sum_{i=1}^n L_{t_i}}{A}$$

*Ecuación 2. Densidad de la red hidrográfica*

*Fuente: (Nogales & Salazar, 2016)*

Dónde:  $n$  es el número de corrientes visibles en la cartografía disponible.

$L_t$ : Longitud media de las laderas en la cuenca. (Con base en el parámetro anterior)

$$D = L_{lad} = \frac{1}{2D}$$

**Ecuación 3.** Densidad de la red hidrográfica (2)

Fuente: (Nogales & Salazar, 2016)

\* **Ancho medio de la cuenca**

Se determina como el cociente entre el área de la cuenca y la longitud lineal de la corriente principal:

$$B = \frac{A}{L_l}$$

**Ecuación 4.** Ancho medio de la Cuenca

Fuente: (Girón, Domínguez y Ruiz, 2016)

\* **Elongación de la cuenca o coeficiente de forma  $\sigma$  s**

Se calcula como el cociente entre la longitud lineal de la corriente principal  $L_l$  y el ancho medio de la cuenca

$$\sigma = \frac{L_l}{B}$$

**Ecuación 5.** Coeficiente de forma.

Fuente: (Girón, Domínguez y Ruiz, 2016)

\* **Coeficiente de compacidad  $k_c$**

Es la relación entre la longitud del perímetro de la cuenca ( $P_{cuenca}$ ) y el perímetro de un círculo con área equivalente a la de la cuenca:

$$k_c = \frac{P_{cuenca}}{P_{circulo}} = \frac{P_{cuenca}}{2\sqrt{\pi A}} = 0.28 \frac{P_{cuenca}}{\sqrt{A}}$$

**Ecuación 6.** Coeficiente de compacidad.

Fuente: (Girón, Domínguez y Ruiz, 2016)

**Tabla 2.** Características de la cuenca de acuerdo con el valor  $k_c$

Tipo	Rango	Descripción
KC1	1.00 – 1.25	Redonda a oval redonda
KC2	1.26 – 1.50	Oval redonda a oval oblonga
KC3	1.51 – 1.75	Oval oblonga a rectangular oblonga
KC4	> 1.75	rectangular oblonga

Fuente: (FAO, 1985)

\* **Altura media del cauce principal  $H_{cauce}$**

Se calcula como la altura promedio de cada tramo del cauce principal.

$$H_{cauce} = H_1 f_1 + H_2 f_2 + \dots + H_n f_n$$

**Ecuación 7.** Altura promedio ponderada del cauce.

Fuente: (Girón, Domínguez y Ruiz, 2016)

\* **Pendiente media del cauce principal I del cauce**

Es el promedio de los cocientes entre los incrementos de alturas y los incrementos de Longitud de la corriente para un tramo determinado.

$$I_{cauce} = \frac{\Delta H}{\Delta L}$$

**Ecuación 8.** Pendiente promedio del cauce principal.

Fuente:(Girón, Domínguez y Ruiz, 2016)

\* **Altura media de la cuenca H**

Se calcula con base al diagrama de frecuencias de la curva hipsométrica, homólogo al cálculo de  $H_{cauce}$ , pero usando las 8 a 12 zonas altitudinales definidas (Domínguez C. 2010):

$$H_{cuenca} = H_1f_1 + H_2f_2 + \dots + H_nf_n$$

**Ecuación 9.** Altura promedio ponderada de la cuenca

Fuente:(Girón, Domínguez y Ruiz, 2016)

Aquí:  $H_i$  es la cota de altura en la mitad del intervalo de cada clase y  $f_i$  es la frecuencia que le corresponde a ese intervalo.

\* **Curva Hipsométrica**

Llamas (1993) señala que el retrato más preciso sobre la elevación de una cuenca se logra a través la curva hipsométrica. Según Hernández (sf) la curva hipsométrica es simplemente una distribución del área de acuerdo con la elevación, es decir, una representación bidimensional, que grafica en el eje vertical la elevación y en el eje horizontal el porcentaje del área sobre cada curva de nivel, en términos del área total.

\* **Pendiente media de la cuenca I cuenca**

La pendiente media de una cuenca es uno de los principales parámetros que caracteriza el relieve de la misma y permite hacer comparaciones entre cuencas (Guilarte, 1978), y corresponde al promedio de las alturas y las pendientes dentro del área aferente de la cuenca A.

Para obtener la pendiente media de la cuenca con base en el DEM, se construye el diagrama de pendientes con las pendientes locales de cada celda calculada a partir del cambio de alturas de las 8 celdas vecinas (Arriba, Abajo, Derecha, Izquierda, Arriba derecha, Arriba izquierda, Abajo derecha, Abajo izquierda). De modo similar al aplicado para definir la altura media, la pendiente promedio ponderada de la cuenca se obtiene cómo (Domínguez C. 2010):

$$I_{cuenca} = I_1f_1 + I_2f_2 + \dots + I_nf_n$$

**Ecuación 10.** Pendiente promedio ponderada de la cuenca.

Fuente:(Girón, Domínguez y Ruiz, 2016)

Aquí:  $I_i$  es la pendiente en la mitad del intervalo de cada clase y  $f_i$  es la frecuencia que le corresponde a ese intervalo.

\* **Profundidad de disección de la cuenca Hdis**

Representa la diferencia entre la altura media de la cuenca  $H_{cuenca}$  y la altura media del perfil longitudinal del río principal:

$$H_{dis} = H_{cuenca} - H_{cauce}$$

**Ecuación 11.** Profundidad de disección de la cuenca.  
Fuente (Nogales y Salazar, 2016)

\* **Nivel de disección del relieve Ndis**

Resulta del doble producto de la densidad hidrográfica por la profundidad de disección:

$$N_{dis} = 2DH_{dis}$$

**Ecuación 12.** Nivel de disección del relieve.  
Fuente: (Nogales y Salazar, 2016)

\* **Número de orden de la cuenca N**

Se determina con base en el número de orden máximo obtenido para el cauce principal de la red hídrica de la cuenca. El orden de los ríos se calcula con base en el método propuesto por Strahler (1952) donde los ríos en su nacimiento tienen valor de orden 1 y estos aumentan de orden solo cuando 2 o más ríos de un mismo orden se cruzan. Por lo tanto, la intersección de un río de primer orden y un río de segundo orden mantendrá el río de segundo orden, mientras si se unen 2 o más ríos de segundo orden el río resultante será de tercer orden (Girón, Domínguez y Ruiz, 2016).

\* **Tiempo de concentración Tc**

Es el tiempo de viaje de una gota de agua para fluir, desde el punto más lejano de la cuenca hasta el punto de interés. En la literatura se encuentran numerosas expresiones para determinar el tc en cuencas hidrográficas (Vélez & Botero, 2010); según Chow, Maidment, & Mays (1988), se considera apropiado incluir al menos cinco estimaciones diferentes. Algunas de las fórmulas que se emplean para el cálculo de este indicador se encuentran, Kirpich, Temez, Giandotti, Bransby-Williams, Dirección General Carreteras (DGC). Sus cálculos se muestran a continuación:

$$T_c = 0.02 * L^{0.77} * S^{-0.385}$$

**Ecuación 13.** Tiempo de Concentración por Kirpich. Fuente: (Wanielista 1997)

$$T_c = 0.3 * \left[ \frac{L}{S^{0.25}} \right]^{0.75}$$

**Ecuación 14.** Tiempo de concentración por Temez. Fuente (Chow 1994)

$$T_c = \left[ \frac{4\sqrt{A} + 1.5L}{0.8\sqrt{H}} \right]^{0.75}$$

**Ecuación 15.** Tiempo de Concentración por Giandotti. Fuente: (Chow 1994)

$$T_c = 0.3 \left[ \frac{L}{J^{0.25}} \right]^{0.76}$$

**Ecuación 16.** Tiempo de Concentración por Dirección General de Carreteras. Fuente: (Chow 1994)

$$T_c = 14.6LA^{-0.1}S^{-0.2}$$

**Ecuación 17.** Tiempo de Concentración por Bransby-Williams. Fuente: (Velez & Botero 2010)

$$T_c = \left[ \frac{0.87075L^3}{H} \right]^{0.385}$$

**Ecuación 18.** Tiempo de Concentración por California Culvert Practice. Fuente: (Vélez & Botero 2010)

$$T_c = 0.335 \left[ \frac{A}{H^{0.5}} \right]^{0.593}$$

**Ecuación 19.** Tiempo de Concentración por Clark. Fuente: (Vélez & Botero 2010)

$$T_c = 5 \left[ \frac{L_m}{S^{0.5}} \right]^{0.5}$$

**Ecuación 20.** Tiempo de Concentración por Johnstone Cross. Fuente: (Vélez & Botero 2010)

$$T_c = \left[ \frac{3600 \cdot n \cdot L}{H^{0.3}} \right]$$

**Ecuación 21.** Tiempo de Concentración por Método Racional Generalizado. Fuente: (Vélez & Botero 2010)

$$T_c = \left[ \frac{0.67 \cdot n \cdot L_p}{S^{0.5}} \right]^{0.467}$$

**Ecuación 22.** Tiempo de Concentración por Kerby Hathaway. Fuente: (Vélez & Botero 2010)

$$T_c = \left[ \frac{0.108 \cdot (A \cdot L)^{1/3}}{S^{0.5}} \right]$$

**Ecuación 23.** Tiempo de Concentración por Passini Fuente: (Vélez & Botero 2010)

$$T_c = \left[ \frac{L}{72 \left( \frac{H}{L} \right)^{0.6}} \right]$$

**Ecuación 24.** Tiempo de Concentración por Pérez Fuente: (Vélez & Botero 2010)

$$T_c = 0,76 A^{0.38}$$

**Ecuación 25.** Tiempo de Concentración por Pilgrim y McDermott. Fuente: (Vélez & Botero 2010)

$$T_c = 1,7694 A^{0.325} A^{-0.096} A^{-0.290}$$

**Ecuación 26.** Tiempo de Concentración por Valencia y Zuluaga. Fuente: (Vélez & Botero 2010)

Donde:

T <sub>c</sub>	Tiempo de concentración (horas)
A	Área de la cuenca en Km <sup>2</sup>
H	diferencia de nivel entre la divisoria de aguas y la salida (m)
J	Pendiente media del cauce principal (H/L)

L	Longitud del cauce principal (Km)
L <sub>p</sub>	Longitud del cauce principal (pies)
L <sub>p</sub>	Longitud del cauce principal (millas)
n	coeficiente de rugosidad del cauce,
NC	Número de curva
S	Pendiente promedio del cauce principal (m/m)
So	Pendiente promedio del cauce principal (%)

## 6.6 Hidroclimatología

### 6.6.1 Llenado de datos faltantes

Los estudios climáticos requieren de la utilización de series continuas de variables meteorológicas, que generalmente presentan datos faltantes limitando su uso (Toro, 2015). Los datos faltantes son ocasionados por errores humanos en el control de las estaciones o fallos en los instrumentos de medición. En la **Tabla 5** se representa el porcentaje de datos faltante para cada variable climatológica, de la información suministrada por el IDEAM para el área de estudio.

**Tabla 3.** Porcentaje de datos faltantes de cada variable meteorológica por estación

Estación	VARIABLES METEOROLOGICAS									
	P		T media		Bs		T min		T max	
Año	% Falta	Año	% Falta	Año	% Falta	Año	% Falta	Año	% Falta	
VILLAVIEJA	1978-2015	4.1	1978-2015	19.9	NA	100	1965-2015	4.7	1965-2015	4.7
STA MARIA	1980-2015	1.0	1980-2015	0.2	1980-2015	10.7	1980-2015	0.2	1980-2015	0.2
PALERMO	1987-2015	9.5	1987-2015	7.1	NA	100	1987-2015	2.8	1987-2015	2.8
LA JULIA	1987-2015	1.0	1994-2015	1.4	NA	100	1991-2015	0.6	1991-2015	0.6
APT B. SALAS	1973-2015	0.0	1973-2015	0.0	1973-2015	0.0	1980-2015	0.0	1980-2015	0.0
EL JUNCAL	1978-2015	7.1	1972-2015	3.3	1982-2015	7.1	1980-2015	2.0	1980-2015	3.0
HIDROBETANIA	1993-2015	3.0	1994-2015	5.5	NA	100	1991-2015	4.6	1991-2015	4.7

*Autores: García P. & Castillo H. (2017)*

Para el llenado de datos faltantes se utilizaron los métodos (Inverse Distance Weighting) interpolation y razón normal, el primero en mención se basa en la distancia que existe entre las diferentes estaciones con respecto a la estación que presenta una serie incompleta (Westerberg & col, 2009).

El valor de la interpolación del campo pi dentro de (Xi,Yi) es el siguiente:

$$P_i = \frac{1}{W_i} \sum_{n=1}^{nn \leq N} W_{i,n} P_n$$

**Ecuación 27.** Valor de interpolación

*Fuente: (García, Peters-Lidard, & Goodrich, 2008)*

El valor de P<sub>n</sub> es conocido en el campo al medir n. Así mismo, los pesos W<sub>i,n</sub> están dados por la siguiente expresión:

$$W_{i,n} = [C_x(X_i - X_n)^k + C_y(Y_i - Y_n)^k + C_z(Z_i - Z_n)^k]^{-1}$$

**Ecuación 28.** Pesos del factor de interpolación

*Fuente: (García et al; 2008)*

Donde  $C_x$ ,  $C_y$  y  $C_z$  permite pesos anisotropicos. Además, el factor de normalización  $W_i$  está dado por:

$$W_i = \sum_{n=1}^{nn \leq N} W_{i,n}$$

**Ecuación 29.** Factor de normalización

Fuente: (García et al; 2008)

Este método tiene la capacidad de producir mediciones precisas y proveer información sin la interacción o interferencia del usuario (Guzmán & León, 2012).

En el método de razón normal se calcula el dato incompleto,  $x(t)$  de una serie, a partir de los datos de las series de las estaciones vecinas y contemporáneas que presenten un alto grado de correlación con la serie a completar (Medina, 2008), se estima a través de la siguiente expresión:

$$X(t) = \frac{1}{n} \left[ \left( \frac{Nx}{N1} \right) P1 + \left( \frac{Nx}{N2} \right) P2 + \left( \frac{Nx}{N3} \right) P3 \right]$$

**Ecuación 30.** Método de la razón normal

Fuente: (Medina 2008)

Donde

$P_x$  = Dato faltante de la estación es estudio durante el periodo de tiempo por completar.

$n$  = Número de estaciones con datos de registros continuos cercanas a la estación de estudio.

$N_x$ : Dato medio anual a nivel multianual de la estación en estudio.

$N_1 \dots \dots N_n$ : Dato medio de la variable en estudio a nivel multianual de las estaciones índices.

$P_1 \dots \dots p_n$ : Dato de las estaciones índices (1 a  $n$ ) durante el mismo periodo de tiempo por completar (Del dato faltante).

## 6.6.2 Evapotranspiración (Almorox, 2000)

No se encontró registros adecuados de evapotranspiración potencial, la misma fue determinada mediante el método de (Thornthwaite, 1948), la cual relaciona la temperatura media, con una corrección en función de la duración del día y el número de días del mes.

$$Evp = 16(10tm/I)^a$$

**Ecuación 31.** Evapotranspiración potencial sin ajustar.

Fuente: (Almorox, 2000)

$Evp$ : Evapotranspiración potencial sin ajustar

$T_m$ : Temperatura media mensual en °C

$I$ : Índice de calor anual

$I = \sum_{j=1}^{12} i_j$

Que se calcula a partir del índice de calor mensual,  $i$ , como suma de los doce índices de calores mensuales:

$$i = (tm/5)^{1.514}$$

**Ecuación 32.** Índice de calor mensual.

Fuente: (Almorox, 2000)

$a$ : Parámetro que se calcula en función de  $I$  según la expresión

$$a = 0,000000675i^3 - 0,0000771i^2 + 0,01792i + 0,49239$$

**Ecuación 33.** *Coficiente de forma.*

*Fuente: (Almorox, 2000)*

Para el cálculo de la ETP de un mes determinado será preciso corregir la ETP sin ajustar 'e' mediante el coeficiente que tenga en cuenta el número de días del mes y horas de luz de cada día, en función de la latitud. Para lo cual se introduce el índice de iluminación mensual en unidades de 12 horas, que deberá multiplicar a la ETP sin ajustar para obtener la ETP según Thornthwaite (mm/mes).

$$ETP = e * L$$

**Ecuación 34.** *Evapotranspiración potencial ajustada.*

*Fuente: (Almorox, 2000)*

e: evapotranspiración mensual sin ajustar en mm

L: Factor de corrección del número de días del mes (Ndi) y la duración astronómica del día (Ni), horas sol.

$$Li = \frac{Ndi}{30} * \frac{Ni}{12}$$

**Ecuación 35.** *Factor de corrección para evapotranspiración*

*Fuente: (Almorox, 2000)*

### 6.6.3 Análisis Exploratorio de Datos

El análisis exploratorio de los datos (EDA) por medio gráfico se realiza con el fin de comprobar tendencias y cambios en la serie de tiempo por medio visual. Es considerado como el primer análisis a realizar antes de cualquier análisis confirmatorio (cuantitativo) y, más aún, antes de utilizar la información hidroclimatológica para modelos y simulaciones (Escobar y Castro.2010).

#### \* Diagrama de caja y bigotes (Box-plot)

Este diagrama, también conocido como box – whister, caja y punto o caja con patillas, ofrece una representación creada a partir de siete números, con el objeto de que los datos del conjunto analizado no pierdan su distribución espacial.

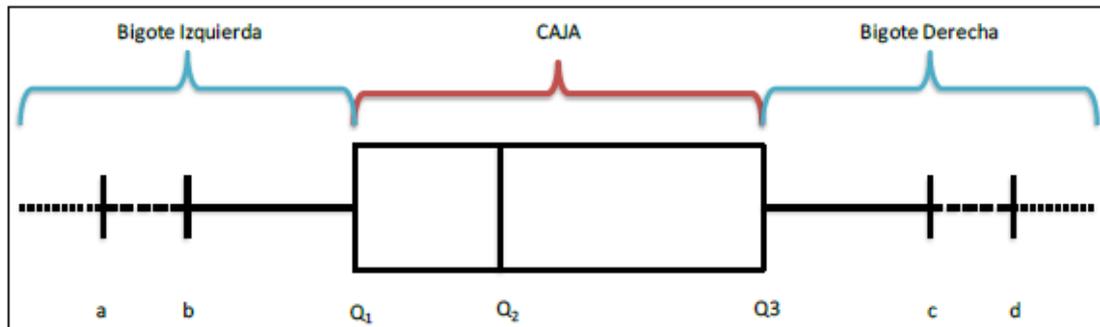
Esta herramienta de análisis exploratorio permite estudiar la simetría de los datos y detectar los valores atípicos en la información que se está analizando (Moros, 2010). El diagrama de cajas y bigotes divide los datos en cuatro áreas de igual frecuencia, con los siguientes intervalos:

- $-\infty, Q1$
- $Q1, Q2$
- $Q2, Q3$
- $Q3, +\infty$

El diagrama de caja y bigotes consta de una caja central y dos segmentos horizontales (bigotes) que parten del centro de cada lado de la caja como se puede visualizar en la **Figura 3**. La caja central encierra el 50% de los datos. La línea vertical al interior de la caja representa la mediana o 50 percentil. Si esta línea está en el centro de la caja, no hay asimetría en los datos. Los lados verticales de la caja están situados en los cuartiles inferior (25 percentil) y superior (75 percentil) de los datos (Moros, 2010).

Partiendo del centro de cada lado vertical de la caja se dibujan los bigotes, uno hacia la izquierda y el otro hacia la derecha, teniendo en cuenta lo siguiente:

- El bigote de la izquierda tiene un extremo en el primer cuartil (Q1) y el otro extremo en el correspondiente valor de “b” en la **Figura 3** y calculado mediante **Ecuación 36**.
- El bigote de la derecha tiene un extremo en el tercer cuartil (Q3) y el extremo superior correspondiente al valor de “c” en la **Figura 3**.



**Figura 3.** Diagrama de Caja y Bigotes

Fuente: (Moros, 2010)

$$b = Q1 - 1,5 * (R.I)$$

**Ecuación 36.** Valor mínimo de la serie

Fuente: (Moros, 2010)

$$c = Q3 + 1,5 * (R.I)$$

**Ecuación 37.** Valor máximo de la serie

Fuente: (Moros, 2010)

Donde el valor R.I: Rango Intercuartilico, está definido por la siguiente expresión:

$$R.I = (75 \text{ percentil}) - (25 \text{ percentil})$$

**Ecuación 38.** Rango Intercuartilico

Fuente: (Moros, 2010)

A los datos que se encuentran a la izquierda del bigote izquierdo y a la derecha del bigote derecho, se les denomina valores atípicos moderados siempre cuando se halle entre [a, b] y [c, d], (**Figura 3**). Donde “a” y “d” se calculan mediante las siguientes ecuaciones:

$$a = Q1 - 3,0 * (R.I)$$

**Ecuación 39.** Valores atípicos

Fuente: (Moros, 2010)

$$d = Q3 + 3,0 * (R.I)$$

**Ecuación 40.** Valores atípicos

Fuente: (Moros, 2010)

Los datos ubicados a la izquierda del valor “a” y a la derecha después del valor “b” se le llaman valores atípicos extremos (Moros, A. 2010).

### \* **Curvas de masa para precipitación**

Es la representación de la altura de precipitación acumulada a través del tiempo, desde el inicio de la tormenta hasta su terminación, está curva no es decreciente, la pendiente en cualquier tiempo, es igual a la intensidad de la lluvia (altura de precipitación por unidad de tiempo) en ese instante (Corzo & Pinilla, 2015).

Para calcular y posteriormente graficar la curva de masa precipitación se emplea la siguiente ecuación:

$$I = \frac{\Delta p}{\Delta t}$$

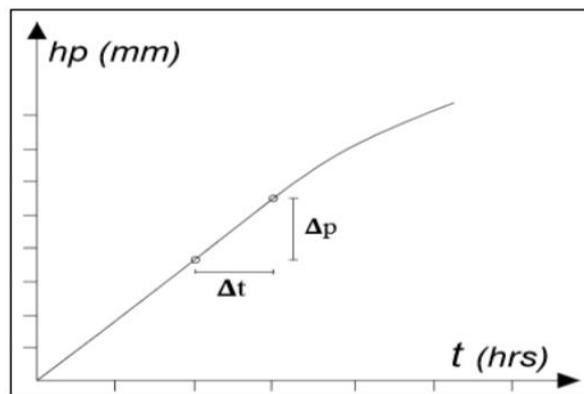
**Ecuación 41.** Curva de masa  
Fuente: (Corzo & Pinilla, 2015)

Donde:

I = Intensidad de la lluvia mm/hr

$\Delta p$  = Incremento de lluvia en el intervalo en mm.

$\Delta t$  = Incremento del tiempo en hrs.



**Figura 4.** Representación gráfica Curva Masa precipitación  
Fuente: (UMSNH, 2009)

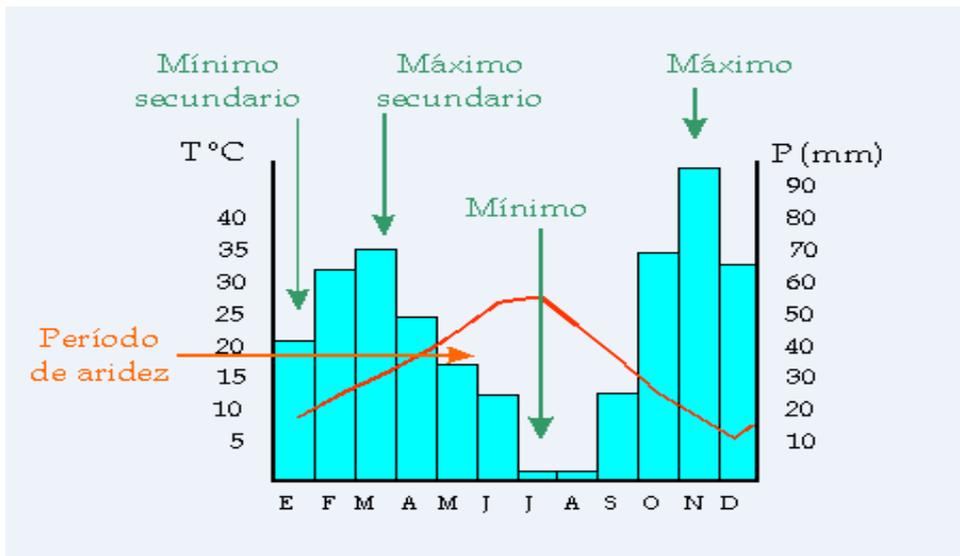
### \* **Correlación cruzada**

La correlación cruzada es de gran importancia en la determinación del tiempo de respuesta con el que las variables explicadas (Precipitación), reaccionan a las fluctuaciones de las variables explicativas (índices de meso y gran escala). La respuesta puede ser inmediata (sincrónica) o retardada por uno a varios periodos (rezagada), (Montealegre, 2009).

#### **6.6.4 Climogramas**

También conocido como diagrama climático y diagrama ombrotérmico, el climograma es un gráfico que presenta doble entrada y en el cual se presentarán resumidos los valores de precipitaciones, temperaturas y clima de una determinada estación meteorológica (López, 2012).

En lo correspondiente a cada mes del año se indicará la precipitación total de cada mes y las temperaturas mensual media, mínima y máxima, en tanto ambas variables, temperatura y precipitación se procesarán en una serie histórica de 29 años, deseándose establecer conclusiones climáticas significativas.



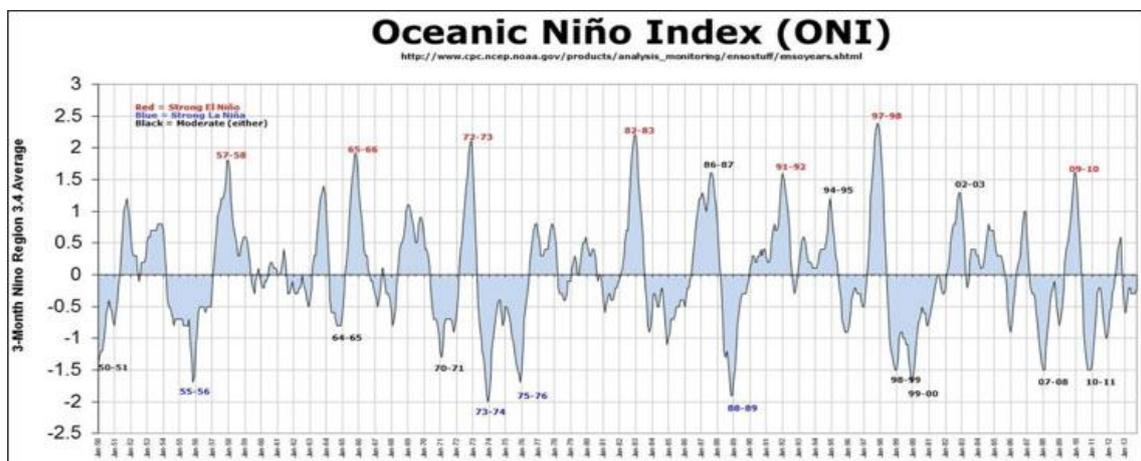
**Figura 5. Climograma**  
Fuente: (Hernández C. 2012)

### 6.6.5 Análisis de la serie de índices ONI vs IP

La identificación y afectación del ENSO sobre la zona de estudio se llevó a cabo mediante análisis del índice de precipitación IP de la cuenca con respecto al índice ONI, los cuales se describen más adelante. Las series tiempo de estos índices fueron adquiridas de la página web de la NOAA (<http://www.cpc.ncep.noaa.gov/>), los cuales se encuentran a disposición del público de forma gratuita. La metodología para la estimación de dicho índice no será descrita en este estudio.

### 6.6.6 Índice oceánico de El Niño (ONI)

El Índice Oceánico (ONI en inglés), cuyo comportamiento se puede observar en la **Figura 6**, es de hecho el estándar que la NOAA utiliza para identificar eventos cálidos (El Niño) y fríos (La Niña) en el océano Pacífico tropical. Se calcula como la media móvil de tres meses de las anomalías de la temperatura superficial del mar para la región El Niño 3.4 (es decir, la franja comprendida entre 5°N-5°S y 120°-170°W).



**Figura 6. Índice oceánico del Niño (ONI)**  
Fuente: (McMahan B. & Crimmins M. 2015)

El ONI es la principal medida por hacer seguimiento y predecir el ENSO, y se compone de 3 fases: El niño, que se caracteriza por valores positivos del ONI mayores o iguales a +0,5°C, durante 3 meses continuos; La niña, caracterizada por valores negativos del ONI menores o iguales a -0,5 °C, durante 3 meses continuos; y la fase neutra que presenta valores del ONI entre -0,5°C y + 0,5°C (Trenberth K, 1997).

### 6.6.7 Índice de precipitación IP (Anomalía de precipitación), (Ruiz, 2012)

El estudio de la variabilidad de la precipitación se realizó con base en el análisis de las series de un índice de precipitación estacional el cual se calculó de la siguiente forma:

$$IP_{i,j} = \frac{P_{i,j} - \bar{P}_i}{\sigma_i}$$

*Ecuación 42. Índice de precipitación*

*Fuente: (Ruiz, 2012)*

Donde:

**IP i, j:** Índice de precipitación de la estación. (Villavieja, Sta. María, Palermo, Julia La, Apto Benito Salas, El juncal, Hidrobetania) i del año j.

**P<sub>i,j</sub>:** Volumen de la precipitación de la estación i del año j.

**P<sub>i</sub>:** Promedio multianual de precipitación de la estación i para el periodo 1987- 2015.

**σ:** Desviación estándar de la estación i.

La determinación de esta anomalía se realizó partiendo de la hipótesis de que las condiciones hidrológicas de la zona de estudio de x mes a nivel multianual, deberían tener el mismo comportamiento.

### 6.6.8 Análisis espectral

El análisis de las señales unidimensionales y bidimensionales de las anomalías climáticas para determinar la influencia del ENSO en la hidrología de la Cuenca Hidrográfica Río Baché, se realizó mediante la transformada de wavelet y el periodograma, que están diseñados para explorar señales con pulsos o intermitencias (Cambios Bruscos), es decir sucesos que ocurren de manera no periódica.

El análisis mediante wavelet puede hacerse para fenómenos continuos o discretos. Estas son las herramientas matemáticas que permiten el análisis de señales unidimensionales dando información en el dominio del tiempo y el dominio de la frecuencia (Nogales & Salazar, 2016). A continuación, se describirá la transformada de wavelet en tiempo continuo de una señal f(t):

$$WT(a, b) = \frac{1}{\sqrt{a}} * \int_{-\infty}^{\infty} f(t) \odot \varphi \left[ \frac{t-b}{a} \right] dt \quad a, b \in \mathbb{R}, a \neq 0$$

*Ecuación 43. Transformada de Wavelet*

*Fuente: (Moros, 2010)*

Donde:

**WT(a, b)** Transformada de wavelet

**f(t)** Señal de análisis

**⊗** Convolución

**t** Tiempo

**a** Escala

**φ** Función wavelet

**b** Translación de la función wavelet en el dominio de la señal de análisis. Real mayor que cero.

Nótese que la WT es función de dos variables ‘a’ y ‘b’, y está estrechamente relacionada con  $\varphi$  o “madre wavelet u Ondita madre” a partir de la cual se generan hijos con cada dupla de valores particulares de (a) y (b), ya que hace referencia a una función ventana de longitud finita y de carácter oscilatorio, y por el análisis será alterada durante el procesamiento de la señal siendo dilatada y trasladada en el dominio original de la señal (Moros, 2010).

## 6.7 Caracterización climática

Para este estudio se caracterizó la climatología de la cuenca del río Baché implementando 4 métodos, dos a escala global (Koppen y Martonne) y los restantes a escala local (Caldas Lang y Thornthwaith).

### 6.7.1 Caldas Lang

Según IDEAM (2011) su inicio radica inicialmente en la clasificación climática de Caldas, ideada en 1902 por Francisco José de Caldas, donde se considera únicamente la variación de la temperatura con la altura (Pisos térmicos) y su aplicabilidad es exclusiva para el trópico americano. En Colombia es la más conocida por el usuario común, pero es incompleta debido a que únicamente considera el factor térmico; Caldas establece los siguientes 5 pisos térmicos:

*Tabla 4. Límites expuestos por Caldas*

Piso Térmico	Símbolo	Rango de Altura en metros	Temperatura en °C	Variación de altitud por condiciones locales
Cálido	C	0 a 1000	$T \geq 24$	Lim. Sup. $\pm 400$
Templado	T	1001 a 2000	$24 > T \geq 17.5$	Lim. Sup. $\pm 400$ Lim. Inf. $\pm 400$
Frio	F	2001 a 3000	$17.5 > T \geq 12$	Lim. Sup. $\pm 400$ Lim. Inf. $\pm 400$
Paramo Bajo	Pb	3001 a 3700	$12 > T > 7$	
Paramo Alto	Pa	3701 a 4200	$T < 7$	

*Fuente: (IDEAM, 2011)*

Por otro lado, la clasificación de Richard Lang establecida en 1915 utiliza la precipitación anual en mm y la temperatura media anual en °C. Los dos parámetros se relacionan mediante el cociente entre la precipitación (P) y la temperatura (T), llamado factor de Lang, y se obtienen 6 clases de clima:

*Tabla 5. Límites expuestos por Lang*

Factor de Lang (P/T)	Clase de Clima	Símbolo
0 1 20.0	Desértico	D
20.1 a 40.0	Árido	A
40.1 a 60.0	Semiárido	sa
60.1 a 100.0	Semihúmedo	sh
100.1 a 160.0	Húmedo	H
$\geq$ a 160.1	Superhúmedo	SH

*Fuente: (IDEAM, 2011)*

Schaufelberguer en 1962, unió la clasificación de Lang con la clasificación de Caldas con lo cual obtuvo 25 tipos de clima que tienen en cuenta la elevación del lugar, la temperatura media anual y la precipitación total media anual (IDEAM, 2011).

**Tabla 6.** *Tipos de clima según Caldas-Lang*

<b>Tipo de Clima</b>	<b>Símbolo</b>
Cálido Superhúmedo	CSH
Cálido Húmedo	CH
Cálido Semihúmedo	Csh
Cálido Semiárido	Csa
Cálido Árido	CA
Cálido Desértico	CD
Templado Superhúmedo	TSH
Templado Húmedo	TH
Templado Semihúmedo	Tsh
Templado Semiárido	Tsa
Templado Árido	TA
Templado Desértico	TD
Frío Superhúmedo	FSH
Frío Húmedo	FH
Frío Semihúmedo	Fsh
Frío Semiárido	Fsa
Frío Árido	FA
Frío Desértico	FD
Paramo Bajo Superhúmedo	PbSH
Paramo Bajo Húmedo	PbH
Paramo Bajo Semihúmedo	Pbsh
Paramo Bajo Semiárido	Pbsa
Paramo Alto Superhúmedo	PaSH
Paramo Alto Húmedo	PaH
Nieves Perpetuas	NP

*Fuente: (IDEAM, 2011)*

### 6.7.2 C. W. Thornthwaite

En 1948, C. W. Thornthwaite ideó una clasificación climática cuya principal característica fue la utilización de la evapotranspiración potencial como parámetro fundamental para la identificación de los diferentes tipos de clima (Thornthwaite, 1948; Torres, 2013).

Según Torres, C. (2013), el sistema de clasificación climática de Thornthwaite se basa en el concepto de evapotranspiración potencial y en el balance de vapor de agua, y presenta 4 criterios básicos:

- Índice Global de Humedad
- Variación estacional de la humedad
- Índice de Eficiencia Térmica
- Variación Estacional de la Eficiencia Térmica

Los cuatro índices de esta clasificación expresan las características climáticas del lugar; los dos primeros expresan el régimen de humedad del lugar y los restantes el régimen térmico, así:

$$B_4 r A' a'$$

**Ecuación 44.** Ecuación general Clasificación Climática por Thornthwaite

Fuente: (Torres, 2013)

Dónde:

$B_4$ = Índice Global de Humedad.

$r$ = Variación Estacional de Humedad (VEH).

$A'$ = Índice de Eficiencia Térmica (ETP).

$a'$ = Concentración Estival de la Eficiencia Térmica.

### Variables e Índices Básicos

Llamando:

- $n$ = (waterneed) a las necesidades de agua anuales (de la vegetación), expresadas por el valor de la evapotranspiración potencial (ETP).
- $e.r.$ = a la evapotranspiración real (ETR), calculada según el método de balance hídrico de Thornthwaite.
- $d$ = al total anual de los déficits mensuales de agua.
- $s$ = al total anual de los excedentes mensuales de agua.
- $p$ = al total anual de las precipitaciones.

Se tienen para todo el año medio, las siguientes relaciones simples:

$$d = n - e.r.$$

**Ecuación 45.** Déficit mensuales de agua

Fuente: (Torres, 2013)

$$s = p - e.r.$$

**Ecuación 46.** Excedentes mensuales de agua

Fuente: (Torres, 2013)

Los primeros índices a calcular son:

$$I_h = 100 * \frac{s}{n}$$

**Ecuación 47. Índice de humedad**

*Fuente: (Torres, 2013)*

$$I_a = 100 * \frac{d}{n}$$

**Ecuación 48. Índice de aridez**

*Fuente: (Torres, 2013)*

### Los cuatro criterios de clasificación de C. W. Thornthwaite

#### \* Índice Global de Humedad

El primer símbolo proviene de un Índice Global de Humedad ( $I_m$  = moistureindex) que resulta de una combinación entre la **Ecuación 47** y la **Ecuación 48**.

De tal manera el Índice Global de Humedad se expresa de la siguiente forma:

$$I_m = I_h - 0.6 * I_a$$

**Ecuación 49. Índice global de humedad**

*Fuente: (Torres, 2013)*

Escrito de otro modo:

$$I_m = \frac{(100 * s) - (60 * d)}{n}$$

**Ecuación 50. Índice global de humedad (2)**

*Fuente: (Torres, 2013)*

De esta forma Thornthwaite clasifica el Índice Global de Humedad en 9 tipos de clima, los cuales se designan por medio de una letra mayúscula, siendo esta la primera de las 4 que caracteriza el esquema de Thornthwaite (Torres, 2013):

**Tabla 7. Clasificación del índice global de humedad según Thornthwaite**

Tipo de Clima	Letra	Índice Global
Súper húmedo	A	$I_m > 100$
Muy Húmedo	B <sub>4</sub>	$100 > I_m > 80$
Húmedo	B <sub>3</sub>	$80 > I_m > 60$
Moderadamente Húmedo	B <sub>2</sub>	$60 > I_m > 40$
Ligeramente Húmedo	B <sub>1</sub>	$40 > I_m > 20$
Sub-húmedo a húmedo	C <sub>2</sub>	$20 > I_m > 0$
Seco a sub-húmedo	C <sub>1</sub>	$0 > I_m > -20$
Semiárido	D	$-20 > I_m > -40$
Árido	E	$-40 > I_m > -60$

*Fuente: (Ávila, M. 2016)*

**\* Variación Estacional de la Humedad**

La segunda variable determina la Variación Estacional de la Humedad, para la cual se determinan 10 clases de clima, entre los que se encuentran 5 climas húmedos ( $I_m > 0$ ) y 5 climas secos ( $I_m < 0$ ), (Torres, 2013).

**Tabla 8.** Clasificación de la Variación Estacional de la Humedad según Thornthwaite

Símbolo	$I_a/I_h$	Significado
<b>Climas Húmedos</b>		
r	$I_a < 16.7$	Sólo climas húmedos (A, B, C <sub>2</sub> ). Poco o ningún déficit en cualquier estación
d	$I_h < 10$	Sólo climas secos (C <sub>1</sub> , D, E). Poco o ningún excedente en cualquier estación.
s		Variación estacional de humedad de carácter moderado, siendo el verano la estación más seca.
	$16.7 < I_a < 33.3$	En climas húmedos (A, B, C <sub>2</sub> ). Déficit estival moderado.
	$10.0 < I_h < 20.0$	En climas secos (C, D, E). Excedente invernal moderado.
w		Variación estacional de humedad de carácter moderado, siendo el invierno la estación más seca.
	$16.7 < I_a < 33.3$	En climas húmedos (A, B, C <sub>2</sub> ). Déficit invernal moderado.
	$10.0 < I_h < 20.0$	En climas secos (C, D, E). Excedente estival moderado.
<b>Climas Secos</b>		
S <sub>2</sub>		Fuerte variación estacional de humedad, siendo el verano la estación más seca.
	$I_a > 33.3$	En climas húmedos, gran déficit estival.
	$I_h > 20.0$	En climas secos, gran déficit invernal.
w <sub>2</sub>		Fuerte variación estacional de humedad, siendo el invierno la estación más seca.
	$I_a > 33.3$	En climas húmedos, gran déficit invernal.
	$I_h > 20.0$	En climas secos, gran déficit estival.

Fuente: (Ávila, M. 2016)

**\* Índice de Eficiencia Térmica**

El tercer símbolo de la clasificación se denomina Índice de Eficiencia Térmica y se determina directamente con los valores de evapotranspiración potencial (mm):

**Tabla 9.** Clasificación del Índice de Eficiencia Térmica según Thornthwaite

Índice de Eficiencia Térmica= ETP en mm.	Símbolo	Tipo de Clima
$n > 1140$	A'	Megatermal
$1140 > n > 997$	B <sub>4</sub> '	Cuarto mesotermal
$997 > n > 855$	B <sub>3</sub> '	Tercer mesotermal
$855 > n > 712$	B <sub>2</sub> '	Segundo mesotermal
$712 > n > 570$	B <sub>1</sub> '	Primer mesotermal
$570 > n > 427$	C <sub>2</sub> '	Segundo microtermal
$427 > n > 285$	C <sub>1</sub> '	Primer microtermal
$285 > n > 142$	D'	Clima de tundra
$142 > n$	E'	Clima de hielo

Fuente: (Ávila, M. 2016)

\* **Concentración Estival de la Eficiencia Térmica**

El cuarto y último símbolo de la clasificación se conoce como Concentración Estival de la Eficiencia Térmica y el cual se determina como el cociente entre la evapotranspiración potencial de los 3 meses de verano sobre la total anual, este índice se expresa en porcentaje y se clasifica mediante 8 clases, como se observa en la **Tabla 10**.

**Tabla 10.** Clasificación Concentración Estival de la Eficiencia Térmica según Thornthwaite

(ETP de los 3 meses de verano / ETP anual) * 100	Símbolo de Thornthwaite
Valores inferiores a 48.0	a'
Entre 48.0 y 51.9	b <sub>4</sub> '
Entre 51.9 y 56.3	b <sub>3</sub> '
Entre 56.3 y 61.6	b <sub>2</sub> '
Entre 61.6 y 68.0	b <sub>1</sub> '
Entre 68.0 y 76.3	c <sub>2</sub> '
Entre 76.3 y 88.0	c <sub>1</sub> '
Valores superiores a 88.0	d'

Fuente: (Ávila, M. 2016)

**6.7.3 Martonne**

La clasificación climática de Martonne (1937), establece un índice de aridez (I<sub>M</sub>) que utiliza la precipitación total anual (P) en mm y la temperatura media anual (T) en °C, mediante la siguiente expresión:

$$I_M = \frac{P}{(T + 10)}$$

**Ecuación 51.** Índice de aridez de Martonne

Fuente: (Rivas & Sáenz, 2009)

Siendo: P= Precipitación anual (mm)  
T= Temperatura media anual (°C)

De esta forma Martonne establece a nivel de escala global 6 diferentes climas en base al índice de aridez.

**Tabla 11.** Zonas climáticas definidas por Martonne

I <sub>M</sub>	Clima
>60	Per-húmedo
60-30	Húmedo
30-20	Sub-húmedo
20-15	Semiárido (mediterráneo)
15-5	Árido (Estepario)
5-0	Árido extremo (Desierto)

Fuente: (Rivas-Sáenz 2009)

**6.7.4 Koppen**

El Sistema de clasificación climática de Koppen utiliza formulas empíricas y valores derivados de las variaciones de ciertos elementos climáticos para delimitar y descubrir 5 grandes grupos de

clima y las subdivisiones correspondientes, que en conjunto constituyen 11 tipos climáticos fundamentales. Dichas formulas y valores fueron calculados y escogidos por hallarse en relación con importantes características del clima que determina la distribución sobre la tierra de las principales agrupaciones de plantas superiores y de otros seres vivientes. Además de su sencilla aplicación, el sistema de Koppen tiene la enorme ventaja de utilizar los datos de temperatura, precipitación media mensual y anual que se toman casi en todas las estaciones meteorológicas, por insignificantes y pequeñas que sean (García, E. 2004).

A continuación, se presenta la metodología generalizada Para la Asignación de cada letra que representara la clasificación climática de Koppen.

**Tabla 12.** Tipos de clima principales según la Clasificación Climática de Koppen

TIPOS PRINCIPALES (Primera Letra)	
Climas Tropicales	<ul style="list-style-type: none"> <li>- TMM &gt;18°C todos los meses.</li> <li>- Carecen de invierno.</li> <li>- Precipitación anual abundante, excede a la evaporación.</li> </ul>
Climas secos	<ul style="list-style-type: none"> <li>- La evaporación excede a la precipitación anual.</li> <li>- Tipo más complicado en su determinación, pues requiere de la aplicación de unas fórmulas empíricas (Se proporcionan en hoja adjunta específica para este tipo de Clima).</li> </ul>
Climas Templados Cálidos (Mesotérmicos)	<ul style="list-style-type: none"> <li>- TMM del mes más frío entre 18° y -3°C.</li> <li>- TMM del mes más cálido &gt; 10°C.</li> </ul>
Climas de Nieve (Microtérmicos)	<ul style="list-style-type: none"> <li>- TMM del mes más frío &lt;-3°C.</li> <li>- TMM del mes más cálido &gt;10°C.</li> <li>- La isoterma 10°C coincide con el límite septentrional del bosque.</li> </ul>
Climas de Hielo	<ul style="list-style-type: none"> <li>- TMM del mes más cálido &lt;10°C</li> <li>- No hay verdadero verano.</li> </ul>

*Fuente: (García E. 2004)*

## 6.8 Conflicto de Uso del Suelo

El conflicto de uso es el resultado de comparar el Uso y cobertura vegetal del suelo con la capacidad de uso del suelo (EOT, Boavita-Boyacá, 2010). Esta labor se realizó, superponiendo el mapa de uso y cobertura vegetal del suelo (Escala 1:25000) y el mapa de capacidad de uso de suelo (Escala 1:25000), tomando los estudios de suelos más actualizados del Huila (IGAC, 2010), los cuales se adquirieron mediante la Corporación Autónoma Regional del Alto Magdalena (CAM), quienes adaptaron la clasificación utilizada por el departamento de agricultura de los estados unidos (USDA, 1985) ya que este sistema de clasificación permite interpretar las condiciones agrícolas del suelo como medio para determinar la capacidad productiva de las tierras. Las clases por capacidad son 8 y se designan como números romanos de I a VIII, lo que significa que a medida que se aleje de la clase I, disminuye el número de cultivos que se puedan producir.

Analizando espacialmente el mapa de conflicto de uso del suelo, se puede identificar zonas que tienen usos inadecuados del suelo y que tienen la necesidad de ejecutar cambios en el uso del mismo, para mejorar productiva y competitivamente. El anterior análisis sirvió para corroborar le necesidad de este estudio en cuanto a generar herramientas claves que sirvan para planificación y ordenamiento productivo.

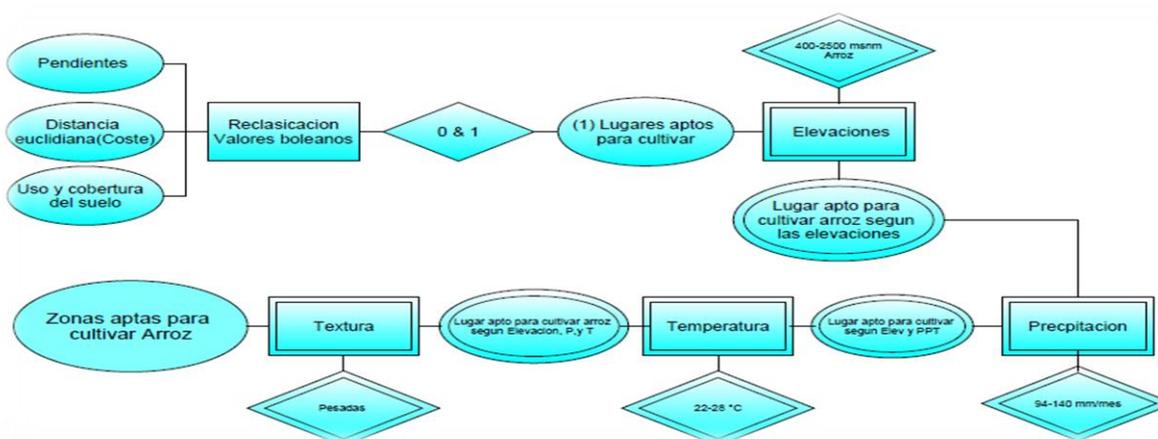
## 6.9 Árbol de decisión

Los árboles de decisión son un método para aproximar funciones objetivos de valor discreto y pueden ser representados como grupos de reglas si-entonces para mejorar la interpretación humana (Obregón y Romero, 2013).

Según Huang et al. (2010). Se encontró reportes donde se utiliza los arboles de decisión para solucionar problemas del campo agrícola. Dentro de las diferentes utilidades los arboles de decisión son utilizados como clasificadores, procesos de inducción alternativa, representación de reglas, patrones de inducción entre otros.

Por otro lado, se identifican estudios representativos en el área de manejo de cultivos, Yang et al. (2004) utilizó arboles de decisión para clasificar imágenes multispectrales de diferentes cultivos; igualmente, Cohen et al. (2006) utilizó este método para par implementar un sistemas de soporte para la toma de decisiones espaciales en cultivos frutícolas de Israel. También Yang et al (2001), aplicó un algoritmo de árbol de decisión, para distinguir entre tratamientos de fertilización química y orgánica.

Para este proyecto se generó un sistema experto de árboles de decisión, que en primera instancia identifique las zonas en la cuales se pueden o no generar actividades agrícolas, realizando una superposición de la siguiente información:



**Figura 7.** Estructura del árbol de decisión para el cultivo de arroz  
 Autor: (García P. & Castillo H., 2017).

Los arboles de decisión pueden llegar a ser tan complejos como los problemas resolver y el número de variables involucradas en el proceso. Y deben ser sometidos a una evaluación por parte de un experto, ya que los datos a procesar pueden contener errores que se verán reflejados en la estructura final del mismo (Obregón y Romero, 2013).

La estructura del árbol decisión tuvo como variables de entrada inicialmente (Pendientes, Distancia Euclidiana, Uso y cobertura de suelo) para generar como variable de salida las zonas aptas para cultivar, la misma será entrada para los siguientes nodos o regla descendientes (Elevación, Precipitación, Temperatura y Textura), sujetas a condicionales que restringen los datos a solo los rangos óptimos de cada variable para el establecimiento de los sistemas productivos en estudio. Las variables anteriormente fueron analizadas y optimizadas, partiendo de la información otorgada por la CAM, IGAC, e IDEAM, escala 1:25000 a falta de estudios o información detallada y completa de otras variables que pueden formar parte de la estructura del árbol decisión como (PH, salinidad, Profundidad radicular, régimen de humedad del suelo, Brillo solar) entre otras.

### 6.9.1 Uso y Cobertura del Suelo

En este ítem se codificó como valor booleano cero las zonas de reserva forestal Tejido Urbano y Cuerpos de agua. La demás son zonas en donde existe o se puede generar actividad productiva codificándose como valor verdadero (1).

**Tabla 13.** Codificación Booleana para el uso y cobertura del suelo

Uso y cobertura de suelo	Valor
Pastos enmalezados	1
Pastos limpios	1
Pastos arbolados	1
Bosque denso	0
Zonas quemadas	1
Ríos	0
Mosaico de cultivos pastos y espacios naturales	1
Arbustos y matorrales	1
Herbazal	1
Lagunas, Lagos Y ciénagas	0
Cuerpos de agua artificiales	0
Oleaginosas y leguminosas	1
tierras desnudas y degradadas	1
Mosaico de pasto con espacios naturales	1
Mosaico de cultivos y espacios naturales	1
Tejido urbano continuo	0
Cultivos permanentes arbustivos	1
Bosque fragmentado	0

*Fuente: (García P. & Castillo H., 2017)*

### 6.9.2 Coste de Distancia

En esta variable se determina las distancias en términos de coste o dificultad que hay entre los afluentes hídricos y cada punto de la cuenca o zona de estudio. (Valor adimensional), se codificó el rango con valor de 1 al rango de 0 a 20000000, zonas de menor dificultad y acceso al agua (ANEXO H. Mapa de Distancia Euclidiana en función del Coste).

**Tabla 14.** Codificación Booleana del coste distancia

Distancia euclidiana (Coste)	valor
0 - 400,000	1
400,001 - 800,000	1
800,001 - 3,440,350	1
3,440,351- 5,600,000	0
> 5,600,001	0

*Fuente: (García P. & Castillo H., 2017)*

### 6.9.3 Pendientes

Esta variable se generó con el objetivo de representar las pendientes mayores a 45 %, las cuales según el IGAC son zonas de exclusión por amenaza alta de erosión y entra a ser zonas con un manejo especial para su recuperación.

Con la superposición de todas las variables anteriormente mencionadas en formato Raster y codificadas con valores booleanos de (0) y (1), se obtuvo las zonas de la cuenca en donde se puede generar actividad agrícola y así seguir con los siguientes filtros correspondientes.

**Tabla 15.** Codificación Booleana de la distancia Euclidiana (Coste)

Pendientes	Valor
0-15	1
15.1- 30	1
30.1- 45	1
>45	0

Fuente: (García P. & Castillo H., 2017)

Para ejecutar el árbol de decisión (**Figura 7**) fue necesario elaborar una ficha técnica en base al anuario estadístico del Huila 2016, para tener un catálogo de cultivos que se puedan establecer con las siguientes condiciones agrológicas de la zona de estudio. (ANEXO BB. Tabas de orden con información de requerimientos agrológicos de cultivos).

### 6.9.4 Elevación

En este filtro se asignarán los cultivos que sean aptos para establecer en determinado rango de elevaciones para los cuales se trabajaron con los valores óptimos que aseguren el buen desarrollo de cada cultivo. La zona de estudio comprende elevaciones que van desde (400 – 3500) msnm.

### 6.9.5 Precipitación

El régimen de precipitación promedio de la zona de estudio va de 94 mm/mes a 140 mm/mes. Los requerimientos de precipitación utilizados son los ideales para garantizar el buen desarrollo de los cultivos.

### 6.9.6 Temperatura

El régimen promedio de temperaturas en la cuenca hidrográfica del Río Baché, va desde los 6°C a los 28°C, según (Rawson, 2001) la temperatura afecta la tasa de desarrollo de las plantas a través de sus distintas fases, por esta razón la ficha técnica se realizó con los valores de temperaturas óptimos para el buen desarrollo en todas las fases de los cultivos.

### 6.9.7 Textura del suelo

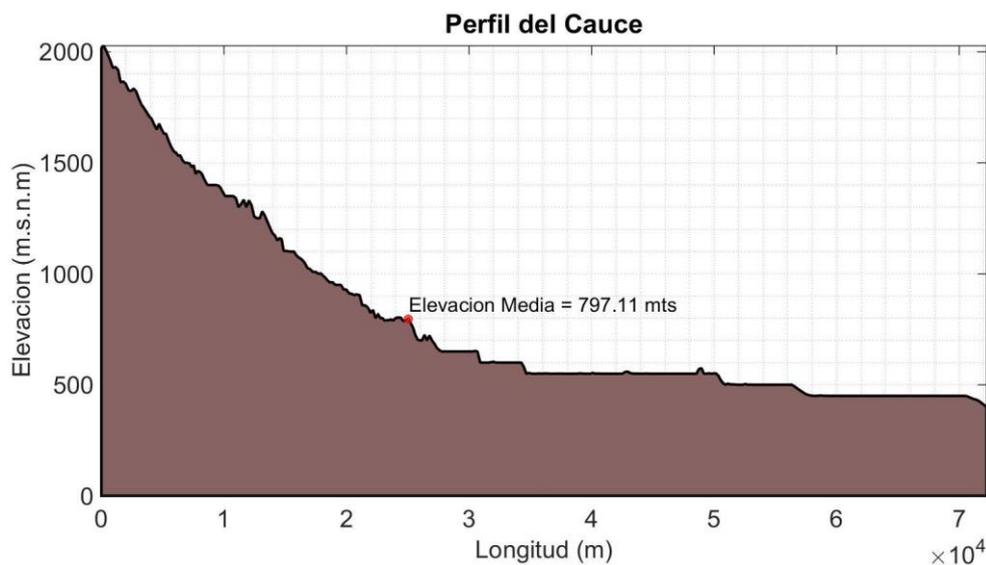
La textura del suelo se clasifica de fina a gruesa, y codifica como valor verdadero (1) la textura media y fina, dejando de lado la clasificación de texturas gruesas cuerpos de agua y zonas urbanas. Una vez cruzadas todas las variables anteriormente mencionadas en el árbol de decisión se espera obtener la distribución espacial de cada cultivo en las zonas aptas para la producción de los mismos, seguido de esto es un análisis en base a la información recopilada en el trabajo de campo y la oferta productiva de Huila actual obtenida del anuario estadístico, del cual se establecerá una propuesta productiva acorde al entendimiento de las interacciones de factores y procesos de producción en coherencia con el medio biofísico, social, económico y cultural.

## 7. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

### 7.1 Análisis Morfométrico

El área de la cuenca hidrográfica río Baché es de 1168.3 Km<sup>2</sup>, y un perímetro de 205.35 km, con un ancho promedio 23,36 km. La cuenca tiene una longitud máxima de 88.96 km, es decir la distancia del punto de aforo al de mayor altura, en dirección horizontal hasta llegar a donde el río corta con el contorno de la cuenca. La cota mínima se encuentra a una altura de 400 msnm y la altura máxima corresponde a 3404,85 msnm con una elevación media de 1289,13 msnm.

El coeficiente de sinuosidad presente en la cuenca es de 1,44, representando que el cauce no tiene una alineación recta a lo largo de su recorrido desde su nacimiento hasta su desembocadura, ya que de acuerdo con Monsalve (1999), los valores menores de 1,25 indica baja sinuosidad, es decir, cauce rectilíneo que se caracteriza normalmente por una baja actividad de ensanchamiento y alta actividad incisiva. En otras palabras, puede afirmarse que el terreno de la zona de estudio es permeable (Textura gruesa) se caracterizan por baja densidad de drenaje, y puede explicarse inicialmente por la cobertura boscosa presenten en la parte alta y media de la cuenca, siendo consecuentes con lo que afirma Strahler (1974) una misma roca producirá menor densidad de drenaje en un clima húmedo, donde una espesa cobertura de bosques protege al material subyacente, que una región árida donde no existe esa cobertura vegetal.



**Figura 8.** Perfil Longitudinal del Cauce Principal

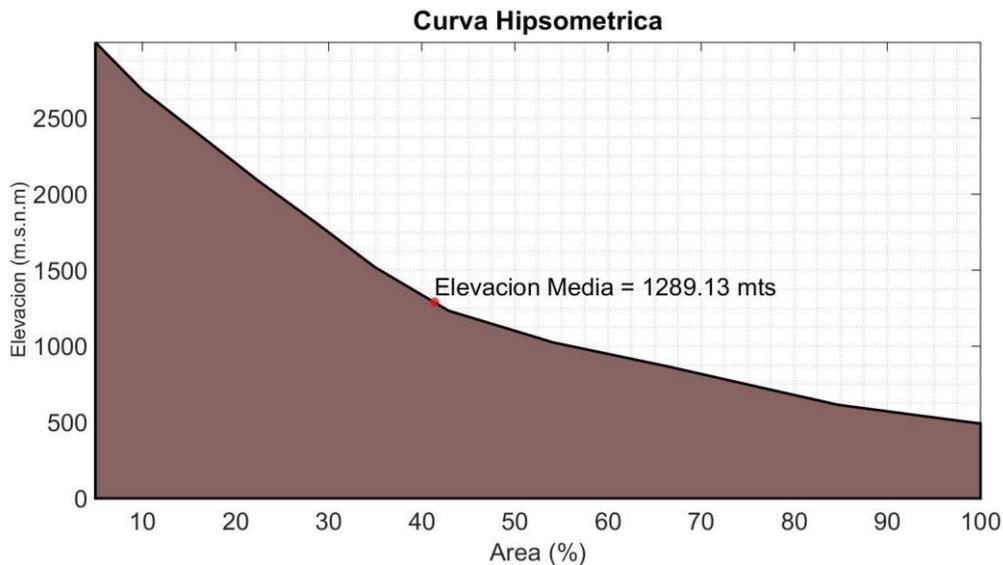
Fuente: (García P. & Castillo H., 2017)

El índice de alargamiento o coeficiente de forma (0,47) permiten concluir que la cuenca es de forma poco alargada tiene la capacidad de dispersar el escurrimiento de lluvias intensas y está menos sujeta a crecientes, por el bajo valor del factor de forma.

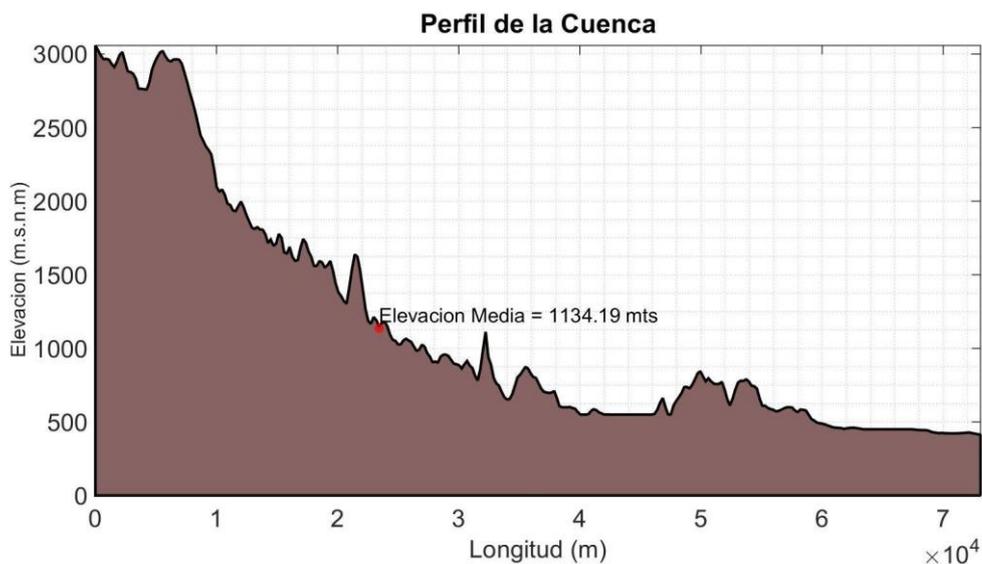
El coeficiente de compacidad de la cuenca es de 1.68, mostrando que la cuenca tiene una forma Oval oblonga a rectangular oblonga según la clasificación de la **Tabla 2**, lo cual representa una cuenca de forma irregular con un alto índice de alargamiento.

La altura del cauce principal es la elevación promedio ponderada del perfil longitudinal del cauce donde el valor obtenido mediante la aplicación de la **Ecuación 7** es 797,11 m.s.n.m.

La pendiente del cauce principal es la pendiente promedio ponderada del cauce, debido a la gran variación de la pendiente a lo largo de su curso. Este valor se obtuvo mediante el uso de la **Ecuación 8**, obteniéndose un valor de 8%.



**Figura 9.** Curva Hipsométrica  
Fuente: (García P. & Castillo H. 2017)



**Figura 10.** Perfil de la cuenca  
Fuente: (García P. & Castillo H., 2017)

Según (Strahler, 1952), cuencas con mayor parte del área con elevación por encima de los valores medios de la cuenca, son consideradas cuencas con gran potencial erosivo (cuencas inmaduras), de lo contrario son consideradas cuencas maduras o sedimentaria, según esto la cuenca se considera como cuenca madura o sedimentaria, ya que el 60% del área se encuentra por debajo de la elevación media de la cuenca, como se muestra en la **Figura 9** y la **Figura 10**.

La altura media de la cuenca se obtiene a partir de la **Ecuación 9** teniendo como resultado un valor 1289.13 m.s.n.m, el cual se visualiza en la **Figura 9**.

La pendiente promedio ponderada de la cuenca se obtuvo mediante el uso de la **Ecuación 10**, resultando una pendiente promedio ponderada de 21% para la cuenca.

Empleando la **Ecuación 11** se obtiene un valor 492.02 m de profundidad de disección, lo cual muestra la susceptibilidad de erosión y remoción en masa presente en la cuenca.

El número de orden de la cuenca se obtuvo mediante la metodología de (Strahler 1952) la cual se encuentra incluida en el software ArcGis 10.3 para el ordenamiento de cauces, este ordenamiento presento los siguientes resultados.

**Tabla 16.** Longitudes de la red de drenaje

Orden del cauce	Longitud (km)
1	200.54
2	69.34
3	43.69
4	37.98
Total	351.55

Fuente: (García P. & Castillo H., 2017)

Los valores de los tiempos de concentración se obtuvieron mediante la aplicación de la **Ecuación 13** hasta la **Ecuación 26**. Los datos obtenidos son los siguientes:

**Tabla 17.** Tiempos de concentración

Autor Ecuación	Tc (h)
Temez (h)	11.97
Kirpich (h)	4.88
California CP (h)	4.76
Giandotti (h)	2.49
Bransby-Williams (h)	53.86
Guaire (1978) (h)	50.54
Clark (h)	46.90
Johnstone Cross (h)	63.20
Método Racional Generalizado (h)	9.81
Passini (h)	16.80
Pilgrim y McDermott (h)	11.13
Valencia y Zuluaga (h)	6.40
Dirección General de Carreteras (h)	12.57
<b>Tc Promedio</b>	<b>22.72</b>

Fuente: (García P. & Castillo H. 2017)

Como se muestra en la **Tabla 17**, El valor de Tc promedio es de 22,72 h, correspondiendo al tiempo de concentración presente en la cuenca, este valor se compara con lo encontrado en los mapas de valores atípicos encontrados con las ecuaciones de algunos autores fueron rechazados debido a su gran variación en comparación con los datos expuestos de la **Tabla 17**.

### **7.1.1 Geología (IGAC, 1994)**

Según el IGAC (1994), la geología de la cuenca del río Baché, abarca la combinación de factores geológicos de todos los municipios que la conforman, ya que la cuenca posee territorio en la cordillera y en la parte plana o baja, toda la estructura geológica de la cuenca se encuentra fuertemente ligada al origen y evolución de las cordilleras Central y Oriental. Por tales razones se encuentra un paisaje con gran diversidad, variación en los tipos de relieve y en litología; también son variables los suelos en su estructura, su textura y niveles de fertilidad.

La fuerte actividad tectónica que dio origen a las cordilleras deja como resultado una gran variedad geomorfológica, con relieves planos a escarpados, así como una abundante presencia de fallas geológicas que son el resultado de la actividad sísmica y volcánica, destacándose la gran variedad de rocas Ígneas, Sedimentarias y Metamórficas, cuyas edades varían desde el periodo precámbrico hasta el cuaternario. Las rocas de tipo Metamórficas e Ígneas, tanto extrusivas como intrusivas están fuertemente ligadas a la formación de las cordilleras Central y Oriental, siendo la primera en mención la que mayor influencia tiene sobre la cuenca hidrográfica del Río Baché.

El tipo de roca más común, son de origen sedimentario, con edades que se remontan hasta el mioceno, que son afectados por fallas, pliegues y discordancias; confluyen con depósitos cuaternarios de origen coluvial y aluvial, estos tipos de rocas son afloramientos de las formaciones Monserrate, Honda, el grupo Guadala y los depósitos cuaternarios (IGAC, 1994).

La formación Monserrate, está conformada por tres unidades de areniscas y cuarcitas de grano medio a fino, separados por dos unidades de arcillolitas con presencia de calizas, las calizas son de tonalidades blancas a gris, claro por lo general caolinita. Al grupo Guadala pertenece la formación San Francisco y la formación Teruel; la primera corresponde a un grupo de arcillolitas blandas y silíceas de origen marino, la formación Teruel no es de origen marino, presenta rocas fácilmente alterables, cuando quedan expuestos al medio ambiente (IDEAM, 2010).

Otra formación que aflora, es la formación Honda de ambiente no marino, depositada en planicies y abanicos aluviales, muestra una litografía clásica, de conglomerados toboceas y arcillolitas intercaladas entre sí, con predominancia de colores amarillo rojizo y rojo, las arcillolitas son masivas y blandas, dentro de estas rocas se han encontrado xilópalos y restos de vertebrados que corresponden al terciario medio. Una falla inversa de dirección norte a sur, localizada al oriente del campo San Francisco, en la base del pie de monte del cerro Chiflón, pone en contacto a la formación Honda con arcillolitas y areniscas del grupo Guadala y las areniscas de la formación Monserrate (IDEAM, 2010).

### **7.1.2 Geomorfología (IGAC, 1994)**

En la cuenca del río Baché, existe una amplia variedad geomorfológica; en la mayor parte de este territorio, se presenta una llanura con leves ondulaciones, que se puede clasificar como una llanura aluvial, la cual se extiende desde el pie de monte del cerro Chiflón y el cerro Chiquito, hasta formar parte de la llanura aluvial del río Magdalena; de la cota 600 en el pie de monte del cerro Chiflón hacia el occidente, se presenta un ascenso, dejando algunos espacios planos conformando una pequeña altillanura y colinas bajas; después se presentan formas escarpadas con ascenso continuado y afloramientos rocosos.

También es destacable entre la carretera nacional que conduce a Neiva y el cauce del río Magdalena, la geomorfología que corresponde a terrazas formadas por la sedimentación de las crecidas y desbordes del río Baché y del propio Magdalena.

Hacia el centro del territorio, entre las veredas Ventanas, Dinás y Arrayán, se encuentra una serie de lomeríos causados por erosión constante, donde el material liviano ha sido lixiviado, dejando al descubierto rocas areniscas de forma redondeada en la corona y ondulaciones que dan origen a estas colinas bajas. Los rangos de pendiente varían desde plana 3% a escarpado >75%, siendo el espacio plano, el más común y de mayor extensión; el sector montañoso se reduce al cerro Chiflón y cerro Chiquito (IGAC, 1994).

### **7.1.3 Suelos (IGAC, 1994)**

La caracterización y descripción de suelos está basado en la información obtenida de los estudios realizados por el Instituto Geográfico Agustín Codazzi “IGAC”, en el departamento del Huila, de donde se obtuvo los elementos básicos para la estructuración del mapa de suelos del área de estudio (IGAC, 1994).

Esta cuenca, por tratarse de un área pequeña y relativamente homogénea en aspectos climáticos y geológicos, la variación del tipo de suelos es poca, aunque se encuentran diferencias básicamente por el origen geológico o rocas madre.

De acuerdo a las formaciones geológicas presentes, es posible encontrar tres tipos de suelos. Las que se desarrollan sobre la formación Honda, son areniscas con poco desarrollo, los suelos con mayor progreso son de tipo arcilloso, formados sobre arcillolitas y existen suelos mixtos formados por la deposición de materia coluvial.

Los suelos derivados de la formación Monserrate son areniscas poco evolucionados, formados a partir de la descomposición de la roca y los suelos originados a partir de la formación Guadala, tienen material de principio arcilloso, ricos en hierro, aluminio y algunas bases, son suelos profundos de textura arcillosa, estructura blocosa, algo pesados para ser laborados, son buenos retenedores de agua, al contrario de los anteriores que tiene dificultad en el drenaje, son profundos, con mejores condiciones de fertilidad, se encuentran en la parte alta en la veredas San Antonio Alto, Potreritos y El Tesoro.

De acuerdo al mapa de suelos de Colombia, elaborado por el Instituto Geográfico Agustín Codazzi (IGAC, 1994), se encuentra una escasa variedad de suelos, lo cual corresponde a la poca variedad geológica, topográfica y ecológica del área en estudio. Según el IGAC, en esta región los suelos con bastante limitantes de uso; solo se encuentran suelos de clase agronómica V, VII y VIII.

Entre los suelos de clase V, o sea los de mejores condiciones agrologicas en la cuenca, se localiza la subclase Vsh, representada en la unidad cartográfica VXBa, la cual se delimita en las vegas del río Baché, donde el río deposita sedimentos, generando mejores oportunidades para la agricultura, con problemas graves como la presencia de sales, fertilidad baja, mal drenados, pero permite desarrollar cultivos exigentes con las necesidades de agua como el arroz, se ubica en las veredas Ventanas, Arrayán y Dinás.

En la clase VII, se encuentran tierras de la subclase VIIsec, representadas en la unidad cartográfica MXCf2; se encuentra en el pie de monte del cerro Chiflón, en las partes altas con pendientes fuerte a escarpadas y en un descenso con pendiente moderada en las veredas San Antonio Alto, El Tesoro y Potreritos. Esta unidad cartográfica se desarrolla en climas secos a muy secos, presenta procesos erosivos desde leves, moderados hasta severos en forma laminar, de surcos y hasta cárcavas, son suelos poco profundos, arenosos, con cascajos, bajas condiciones de fertilidad y de gran susceptibilidad a la erosión. La misma Permite usos en ganadería, con restricciones a técnicas de conservación de suelos, pero por las pendientes escarpadas su mejor uso es en áreas estratégicas, además su ubicación en la región, es donde presenta los nacimientos de agua de gran

importancia, si se desarrolla ganadería debe ser mediante arreglos silvopastoriles con especies como Matarratón, Iguá, Guácimo, Leucaena y pastos de corte plantados en curvas de nivel (IGAC, 1994).

La clase VIII, se encuentra ocupando el mayor espacio de la cuenca del río Baché en jurisdicción del municipio de Aipe, se ubica en la unidad cartográfica MXEf3, en las veredas El Tesoro y Potreritos, en una franja angosta en medio de la unidad cartográfica anterior, se localiza una topografía con pendientes entre 20 a 30%; en esta misma clase agrologica hallamos la unidad cartográfica PXEd3, que contiene los suelos más representativos de esta región, con suelos de estructura arenosa, franco arenosa y arcillosa, de grano fino fácilmente lixiliables, con bajas condiciones de fertilidad, bien drenados, cuya mayor vocación se representa en ganadería, está ubicada en las veredas Ventanas, Arrayan, Dindal, Dinás, San Antonio, parte de Potreritos y El Tesoro (IGAC, 1994). (ANEXO D. Mapa de Uso y Cobertura del Suelo).

**Tabla 18.** Distribución de las clases de suelos y ocupación en la cuenca hidrográfica del Río Baché

CLASE AGROLOGICA	SUBCLASE	UNIDAD CARTOGRAFICA	UBICACIÓN	ÁREA HA	ÁREA %
V	Vsh	VXBa	Ventanas Arrayan Dinas	3153.60	15.28
VII	VIIsec	MXCf2	San Antonio Alto Potreritos El Tesoro	2936.97	14.23
VIII	VIII	MXEf3	Potreritos El Tesoro	13403.80	64.94
	VIII	PXEd3	San Antonio Ventanas Dindal Dinas	1146.23	5.55

Fuente: CAM (2013), IGAC (1994)

## 7.2 Análisis Exploratorio de Datos

### 7.2.1 Red Hidrometeorológica

La información meteorológica a nivel mensual (Precipitación, Temperaturas, Brillo Solar) fue obtenida del instituto de hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales De Colombia (IDEAM), haciendo un inventario detallados de las estaciones cercanas a la zona de estudio, filtrando la búsqueda con estaciones activas de tipo Climatológica ordinaria, Climatológica principal CP y sinóptica suplementaria SS que tuvieran un registro continuo de más de 20 años, con el objetivo de analizar temporal y espacialmente la influencia del fenómeno del ENSO en la cuenca hidrográfica del río Baché (ANEXO C. Mapa Red hidrometeorológica de la cuenca hidrográfica del Río Baché).

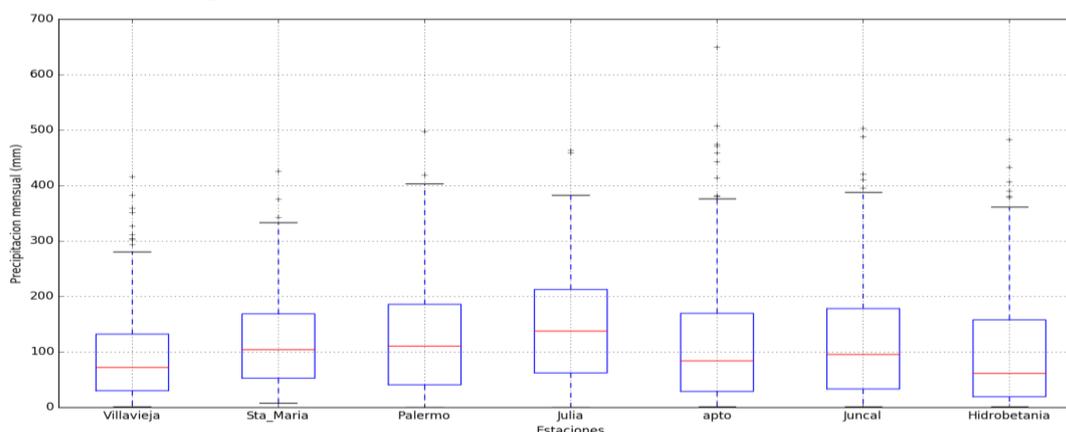
**Tabla 19.** Estaciones meteorológicas del IDEAM en la zona de estudio

Nombre estación	Código	Latitud(N)	Longitud (w)	Elevación (msnm)	Municipio	Categoría
VILLAVIEJA FFCC	21115080	3° 13" 21.1'	75° 12" 58.6'	430	VILLAVIEJA	CO
STA MARIA	21125010	2° 56" 33.5'	75° 35" 1.7'	1300	SANTA MARIA	CO
PALERMO	21125020	2° 52" 55.9'	75° 26" 42.5'	550	PALERMO	CO
JULIA LA	21135050	3° 5" 55.6'	75° 31" 48.1'	1691	NEIVA	CO
APTO BENITO SALAS	21115020	2° 56" 55.5'	75° 17" 35'	439	NEIVA	(SS)
JUNCAL EL	21095010	2° 49" 43.7'	75° 19" 52.2'	460	Palermo	CO
HIDROBETANIA	21105060	2° 42" 48.4'	75° 25" 29.7'	500	Campoalegre	CP

Fuente: (García P. & Castillo H., 2017)

### 7.2.2 Diagramas de caja y bigotes (Box-plot)

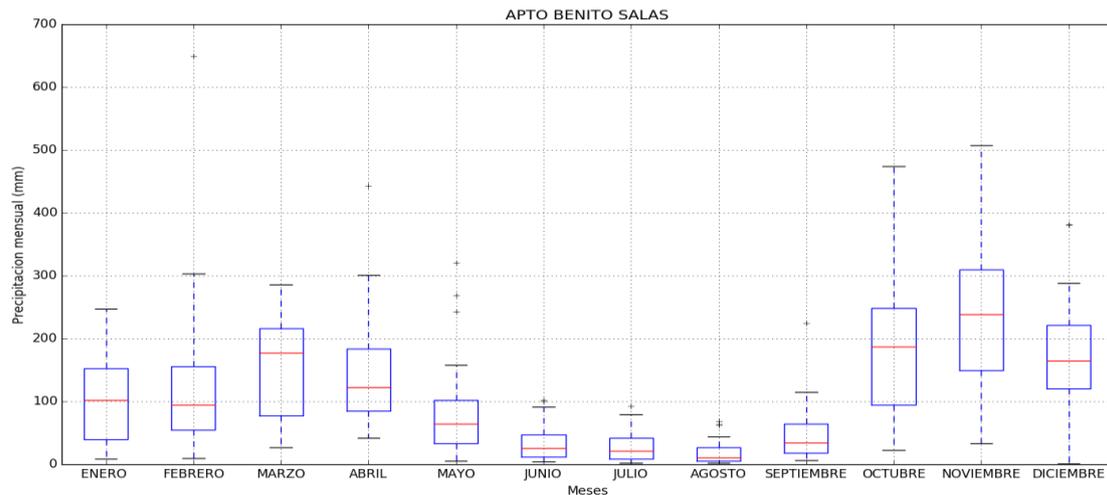
A continuación, se presenta para cada estación climatológica el diagrama de caja y bigotes (Box-plot), que permite observar varias características importantes de la naturaleza de los datos de precipitación, como lo son la dispersión y la simetría. Las líneas rojas ubicadas dentro de cada caja denotan el segundo cuartil que representa la mediana de la distribución, así mismo la parte inferior (cuartil 1) es el valor mayor que el 25% de los valores de la distribución y el superior (Cuartil 3) es el valor mayor que sobrepasa al 75 % de los valores de la distribución respectivamente. Y los puntos en forma de (+) que están por fuera de la influencia de los bigotes son los datos atípicos. (ANEXO I. Mapa Distribución espacial del análisis exploratorio (Boxplot) en la cuenca hidrográfica del Río Baché-Huila).



**Figura 11.** Diagrama de caja y bigotes de las 7 estaciones en el área de estudio

Fuente: (García P. & Castillo H., 2017)

La zona de estudio en general presenta un régimen climático que se caracteriza por una distribución de la precipitación, con dos periodos de valores máximos relativos y dos de mínimos relativos, influenciado ese tipo de distribución por los desplazamientos de la zona de Confluencia Intertropical como lo afirma Poveda et al (2004).



**Figura 12.** Diagrama de caja y bigotes para la estación Aeropuerto Benito Salas  
Fuente: (García P. & Castillo H., 2017)

De la **Figura 12** se observa que la estación Benito Salas ubicada a 439 msnm presenta una distribución de 2 periodos máximos que corresponden a meses de marzo a abril y de octubre a diciembre sobrepasando los 100 mm de precipitación mensual y 2 periodos mínimos de precipitación con menos de 100 mm, en junio- agosto y enero – febrero. Para los meses Enero y marzo del primer trimestre se deduce que las precipitaciones comprendidas entre el 25% y el 50% de la distribución está más dispersa que entre el 50 y 75%, ocurriendo lo mismo para los meses de octubre y noviembre del último trimestre.

La estación La Julia ubicada a 1691 msnm presenta una distribución en donde se identifican 2 periodos lluviosos que corresponden a meses de marzo a abril y de octubre a diciembre sobrepasando los 150 mm de precipitación mensual. Es temporada seca los meses comprendidos entre diciembre y febrero, algo que no aplica para esta estación, la cual puede estar afectada por la barrera orográfica de los ramales de la cordillera central de los andes en este caso la cordillera central que induce la formación de climas locales y regionales de difícil predicción (Poveda, 2004). Esta misma distribución extendiéndose hasta marzo lo presenta la estación Hidrobetania ubicada a 500 msnm, como también una disminución en los valores máximos de abril – mayo.

Para los meses abril y mayo, se deduce que las precipitaciones comprendidas entre el 50 % y el 75% para (Julia la e Hidrobetania) de la distribución está más dispersa que entre el 25 y 50%, ocurriendo lo mismo para los meses de octubre y noviembre del último trimestre en caso de Julia La y noviembre para el caso de Hidrobetania.

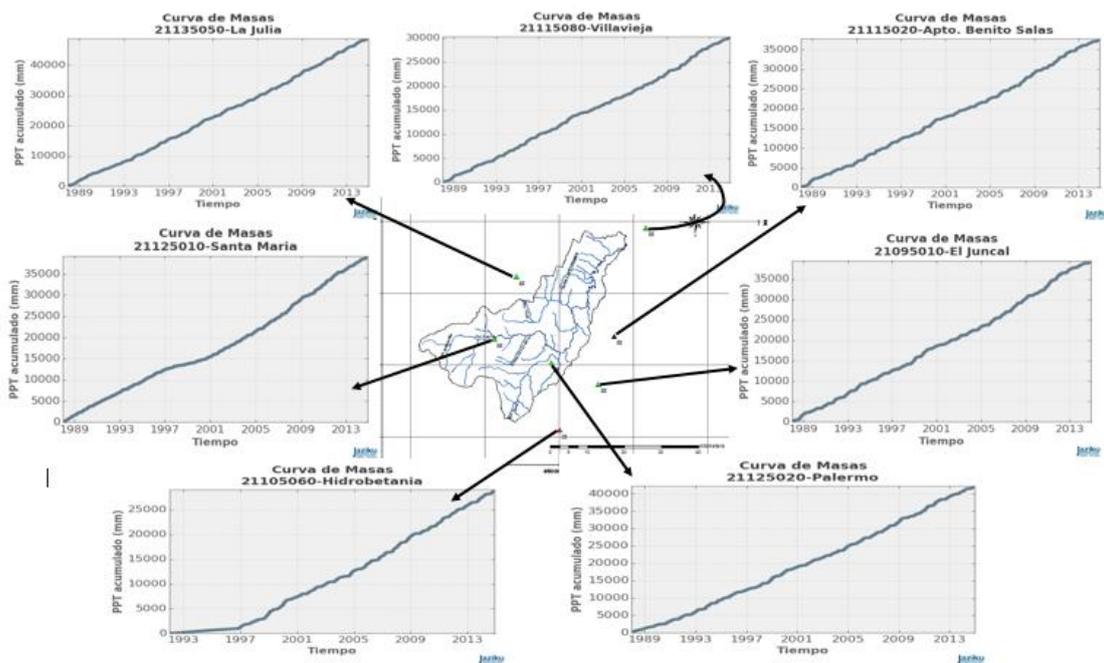
La estación El Juncal ubicada a 460 msnm y Palermo ubicada a 550 msnm presentan distribución en donde se identifican 2 periodos lluviosos que corresponden a los meses de marzo a Abril y de octubre a diciembre sobrepasando los 120 mm de precipitación mensual, denotándose una baja en la precipitación en el mes de mayo, y que la temporada lluviosa en esta estación inicia en marzo, no cumpliendo a cabalidad con el ciclo anual normal de la hidroclimatología de Colombia que dan como meses de lluvia abril-mayo, como lo expresa Poveda (2004), Además de esto se observa las distribuciones de las 2 temporadas secas Enero-febrero con precipitaciones por debajo los 120 mm , Junio – agosto con precipitaciones por debajo de 50 mm.

Para Palermo Las distribuciones más dispersas se observan en el último trimestre en noviembre, diciembre y en marzo del primer trimestre deduciéndose que las precipitaciones comprendidas entre el 25% y el 50% de la distribución está más dispersa que entre el 50 y 75% para noviembre y diciembre, ocurriendo lo contrario para marzo del primer trimestre.

Para la estación Sta. María ubicada a 1300 msnm y Villavieja 430 msnm presentan 1 distribución en donde se identifican dos periodos lluviosos que corresponden a meses de marzo a mayo y de octubre a diciembre sobrepasando los 140 mm de precipitación mensual para Sta. María y Villavieja por encima de los 100 mm. La distribución de las series de precipitación de estas 2 estaciones en mención se asemeja a lo descrito en las estaciones El Juncal y Palermo (ANEXO I. Mapa Distribución espacial del análisis exploratorio (Boxplot) en la cuenca hidrográfica del Río Baché-Huila). Las distribuciones más dispersas se observan para Sta. María en los meses de marzo - abril del primer semestre, y en el caso de Villavieja en el mes de abril del primer semestre y finalizando el segundo semestre en el mes de diciembre.

Generalmente la distribución de las precipitaciones observadas en cada uno de los diagramas de dispersión (Box-plot), señala dos máximos de precipitación en marzo-mayo y octubre-noviembre y un periodo de sequía junio-agosto, con alguna incongruencia en estaciones como La Julia e Hidrobetania para el primer trimestre, que podría ser causada como se mencionaba anteriormente por influencia de la cordillera central sobre las condiciones climáticas de la región a una escala local. Otro factor preponderante sobre el ciclo anual de la hidroclimatología colombiana y de la zona de estudio es la migración latitudinal de la zona de confluencia intertropical que se da como resultado del ciclo anual de temperaturas superficiales por efecto de la insolación, asociada con la dinámica Trans-ecuatorial de advección de humedad de los vientos alisios del este, la actividad del chorro del choco y de los sistemas convectivos a meso escala. (Cuartas y Poveda, 2002; Vélez et al, 2002). Sobre el centro de Colombia se presentan dos temporadas lluviosas abril- mayo y octubre- noviembre y dos temporadas secas diciembre - febrero y junio- agosto, como resultado del doble paso de la ZCIT sobre el territorio colombiano. Como lo reporta Poveda et al (2004), esto se corrobora en los diagramas de dispersión (Box-Plot) ANEXO I. Mapa Distribución Espacial Del Análisis Exploratorio Box-Plot, respectivamente, infiriéndose de los mismos que la temporada de lluvia y temporada seca se inicia en el mes inmediatamente anterior.

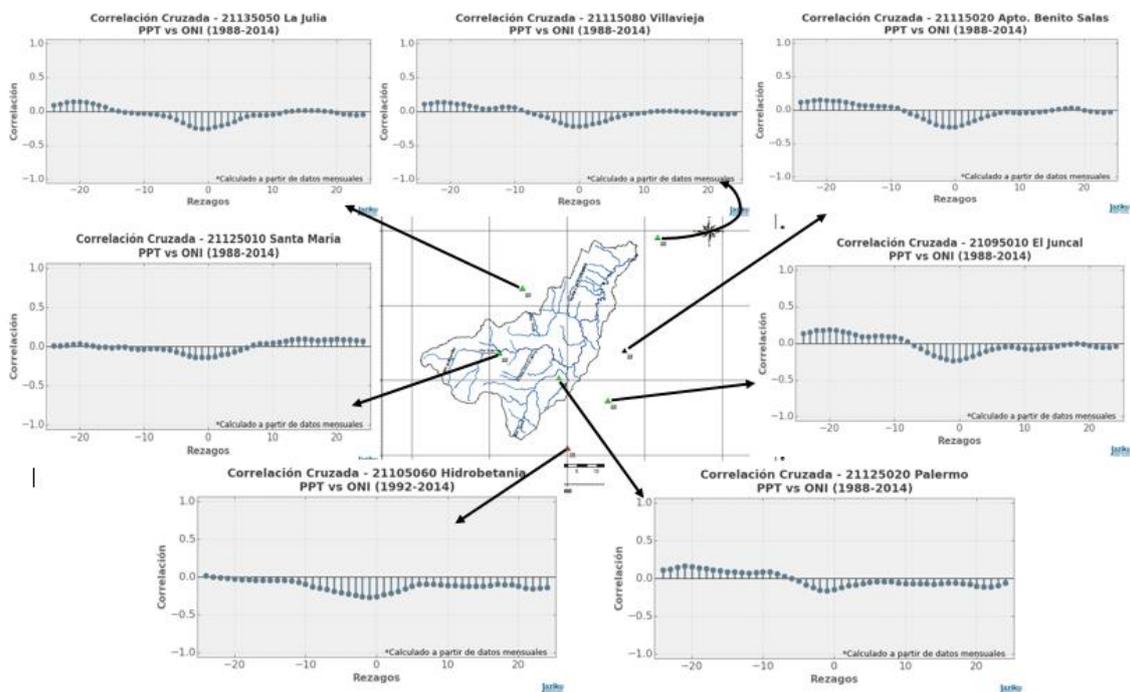
### 7.2.3 Curvas de masa



**Figura 13.** Curvas de masa para todas las estaciones de la zona de estudio  
Fuente: (García P. & Castillo H., 2017)

En la **Figura 13** se presentan las curvas de masa para cada estación con su ubicación espacial sobre la cuenca hidrográfica del Río Baché y sus alrededores, se observa como en general todas las estaciones presentan una tendencia lineal en relación con el promedio de las mismas, sin embargo, las estaciones Santa María e Hidrobetania presentan desviación en su tendencia indicando inconsistencia en las series de información, que coinciden con el periodo de 1997-2000 catalogado como fuerte o de carácter intenso del ENSO, en sus dos fases, cálida 1997-1998 y húmeda 1999-2000, como reporta Montealegre (2007). A los factores anteriores se añade la influencia orográfica por parte de los ramales de la cordillera de los Andes (cordillera central) que inciden en la formación de climas locales de difícil predicción, como se mencionaba en apartados anteriores corroborando la afirmación de Poveda et al (2004).

## 7.2.4 Correlación cruzada



**Figura 14.** Correlación cruzada para todas las estaciones de la zona de estudio  
Fuente: (García P. & Castillo H., 2017)

En la **Figura 14** se representa la correlación lineal existente entre dos señales, en este caso la señal de la variable explicada (Precipitación) y la señal de la variable explicativa (ONI), en La Julia se observa una correlación inversa de un 35% aproximadamente, infiriéndose que la variable explicada tiene un tiempo de respuesta de 1 a 2 meses después de la ocurrencia de la variable explicativa, de igual manera ocurre para Villavieja, Apto Benito Salas, El Juncal, Sta. María, Hidrobetania.

### 7.3 Climogramas

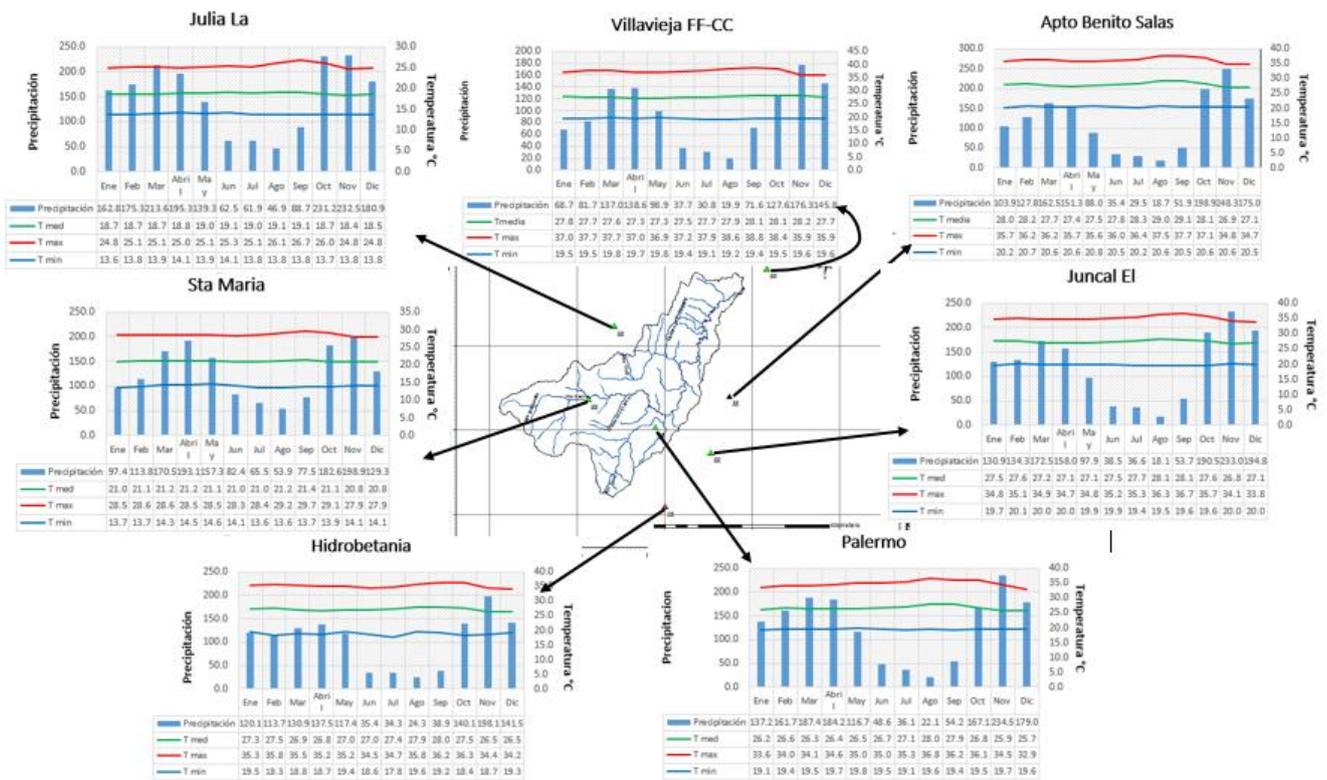


Figura 15. Climogramas para todas las estaciones de la zona de estudio  
Fuente: (García P. & Castillo H., 2017)

El análisis de precipitación para todas las estaciones de la zona de estudio en el periodo 1987-2015 presenta de manera clara un régimen con dos periodos de mayor precipitación el cual se lluviosos intercalados por uno seco, este régimen se manifiesta principalmente en la zona central de Colombia (García, A., 2006), donde se encuentra ubicada la cuenca hidrográfica del Río Baché. Para algunas estaciones como Santa María, La Julia, Hidrobetania, Palermo y el Juncal los periodos de precipitación en el primer semestre del año van desde enero a mayo y para el segundo semestre del año de octubre a diciembre, para el caso de la estación Villavieja los valores de precipitación en el primer semestre van de marzo a mayo y para el segundo semestre de octubre a diciembre; por ultimo para la estación Apto Benito Salas en el primer semestre del año, el periodo de lluvias solo se extiende de marzo hasta abril, entrando mayo a ser parte del periodo de sequía, y para el segundo semestre el periodo lluvioso va de octubre a noviembre, disminuyendo considerablemente para el mes de enero del primer semestre.

Para todas las estaciones no se cumple con el ciclo anual de precipitación normal de la climatología colombiana, según el concepto expuesto por Poveda et al (2004).

En el análisis de precipitación para la estación La Julia del periodo 1987 a 2015 se presenta una precipitación anual de 1790.8 mm, siendo la estación que registra la mayor magnitud de lluvias en la zona de estudio; la precipitación durante este periodo se distribuye presentando dos periodos de lluvias entre los meses de Febrero a Mayo y Octubre a Diciembre, separados por un periodo seco comprendido entre los meses de Junio a Septiembre. Los meses de menor precipitación son junio, julio y agosto con registros por debajo de los 63 mm, los meses más lluviosos son octubre y noviembre con precipitaciones de 231.2 y 232.5 mm respectivamente. En cuanto a la temperatura la estación La Julia registra un valor medio anual de 18.8 °C, siendo este el valor medio anual más bajo de todas las estaciones presentes en la zona. El mes más frío es Noviembre

con una temperatura media de 18.4 °C, siendo esta la media mensual más baja entre las estaciones de la zona, los meses más cálidos son Junio, Agosto y Septiembre con una temperatura media de 19.1 °C, lo anterior teniendo relación con la escasa precipitación registrada para los mismos meses. Con este análisis y de acuerdo a la caracterización climática de Caldas-Lang la estación La Julia se encuentra ubicada en un clima Templado Semi-húmedo (Tsh).

En el análisis de precipitación para la estación Villavieja del periodo 1987 a 2015 se presenta una precipitación anual de 1134.6 mm, siendo esta la estación que registra la menor magnitud de lluvias en la zona de estudio; la precipitación durante este periodo presenta dos periodos de lluvias entre los meses de marzo a mayo y octubre a diciembre, separados por un periodo seco comprendido entre los meses de junio a septiembre. Los meses menos abundantes de precipitación son junio, julio y agosto con registros por debajo de los 38 mm, los meses más lluviosos son noviembre y diciembre con precipitaciones de 176.3 y 145.8 mm respectivamente. En cuanto a la temperatura la estación Villavieja registra un valor medio anual de 27.8 °C. El mes con la temperatura media más baja es abril con 27.3 °C y los meses más cálidos son septiembre, Octubre y noviembre con una temperatura media de 28.1 °C, lo anterior teniendo relación con la escasa precipitación registrada para los meses de Septiembre y Octubre, caso contrario ocurre con Noviembre que es uno de los meses más lluviosos en la estación pero presenta una de las más altas medias en temperatura. Con este análisis y de acuerdo a la caracterización climática de Caldas-Lang la estación Villavieja se encuentra ubicada en un clima Templado Cálido Semi-árido (Csa).

En el análisis de precipitación para la estación Benito Salas del periodo 1987 a 2015 se presenta una precipitación anual de 1391.1 mm; la precipitación durante este periodo se presentan dos periodos de lluvias entre los meses de Marzo hasta abril y Octubre a Diciembre, separados por un periodo seco comprendido entre los meses de Junio a Septiembre. Los meses menos abundantes de precipitación son junio, julio y agosto con registros por debajo de los 36 mm, los meses más lluviosos son octubre y noviembre con precipitaciones de 198.9 y 248.3 mm respectivamente. En cuanto a la temperatura la estación Benito Salas registra un valor medio anual de 27.9 °C, siendo este el valor medio anual más alto de todas las estaciones presentes en la zona. El mes con temperaturas más baja es Noviembre con 26.9 °C y los meses más cálidos son Agosto y Septiembre con una temperatura media de 29.0 y 29.1 °C respectivamente, lo anterior teniendo relación con la escasa precipitación registrada para los mismos meses. Con este análisis y de acuerdo a la caracterización climática de Caldas-Lang la estación Benito Salas se encuentra ubicada en un clima Cálido Semiárido (Csa).

En el análisis de precipitación para la estación “El Juncal” del periodo 1987 a 2015 se presenta una precipitación anual de 1458.7 mm; la precipitación durante este periodo se distribuye con dos periodos de lluvias entre los meses de Marzo hasta abril y Octubre a Diciembre, separados por un periodo seco comprendido entre los meses de Junio a Septiembre. Los meses menos abundantes de precipitación son junio, julio y agosto con registros por debajo de los 39 mm, los meses más lluviosos son noviembre y diciembre con precipitaciones de 233.0 y 194.8 mm respectivamente. En cuanto a la temperatura la estación El Juncal registra un valor medio anual de 27.4 °C. El mes con temperatura media más baja es Noviembre con 26.8 °C y los meses más cálidos son Agosto y Septiembre con una temperatura media de 28.1 °C, lo anterior teniendo relación con la escasa precipitación registrada para los mismos meses. Con este análisis y de acuerdo a la caracterización climática de Caldas-Lang la estación El Juncal se encuentra ubicada en un clima Cálido Semiárido (Csa).

En el análisis de precipitación para la estación Palermo del periodo 1987 a 2015 se presenta una precipitación anual de 1528.9 mm; la precipitación durante este periodo se distribuye presentando dos periodos de lluvias entre los meses de Febrero hasta abril y Octubre a Diciembre, separados por un periodo seco comprendido entre los meses de Junio a Septiembre. Los meses menos abundantes de precipitación van desde junio hasta septiembre con registros por debajo de los 55 mm, los meses más lluviosos son Marzo y Noviembre con precipitaciones de 187.4 y 234.5 mm

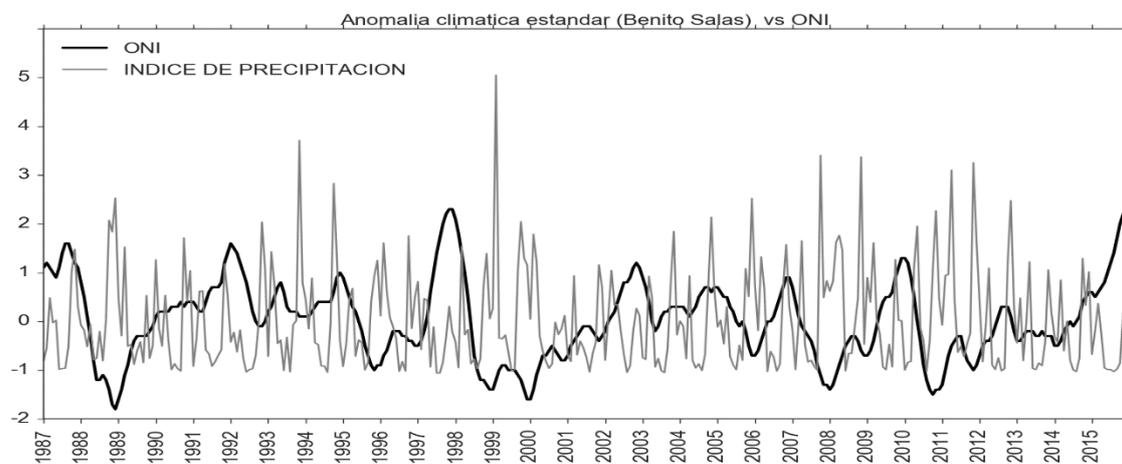
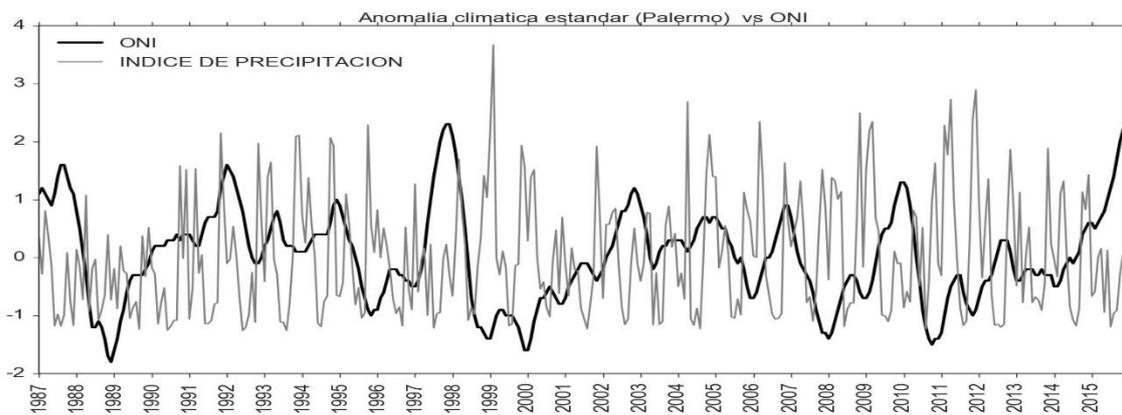
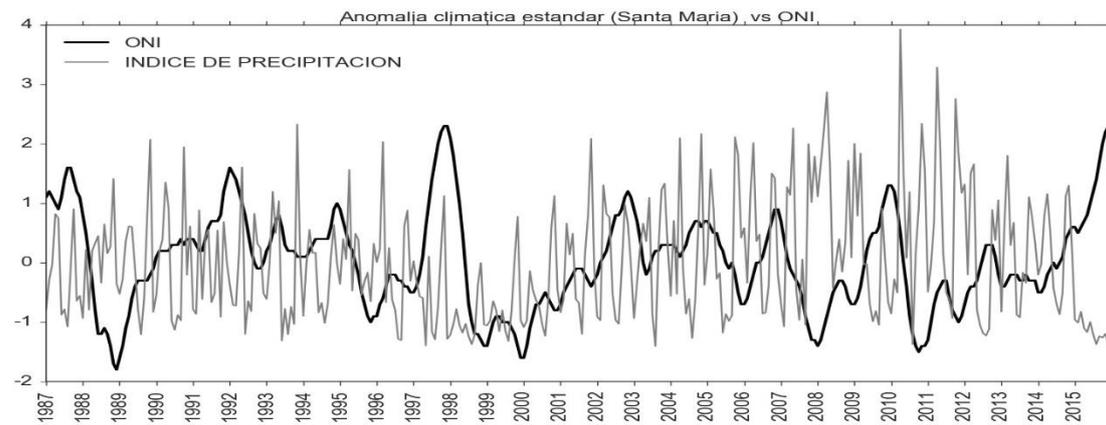
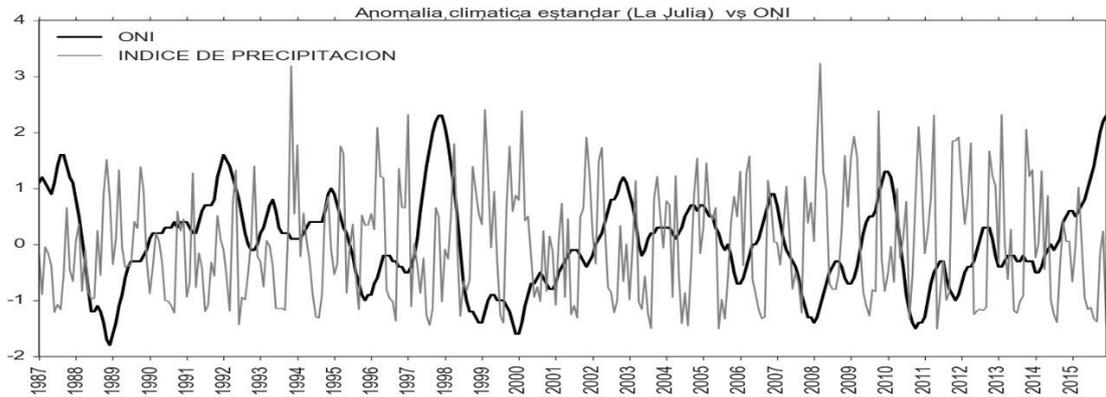
respectivamente. En cuanto a la temperatura la estación Palermo registra un valor medio anual de 26.7 °C. El mes con temperatura más baja es Diciembre con una temperatura media de 25.7 °C y el mes más cálido es Agosto con una temperatura media de 28.0 °C, lo anterior teniendo relación con la escasa precipitación registrada para el mismo mes. Con este análisis y de acuerdo a la caracterización climática de Caldas-Lang la estación Palermo se encuentra ubicada en un clima Cálido Semiárido (Csa).

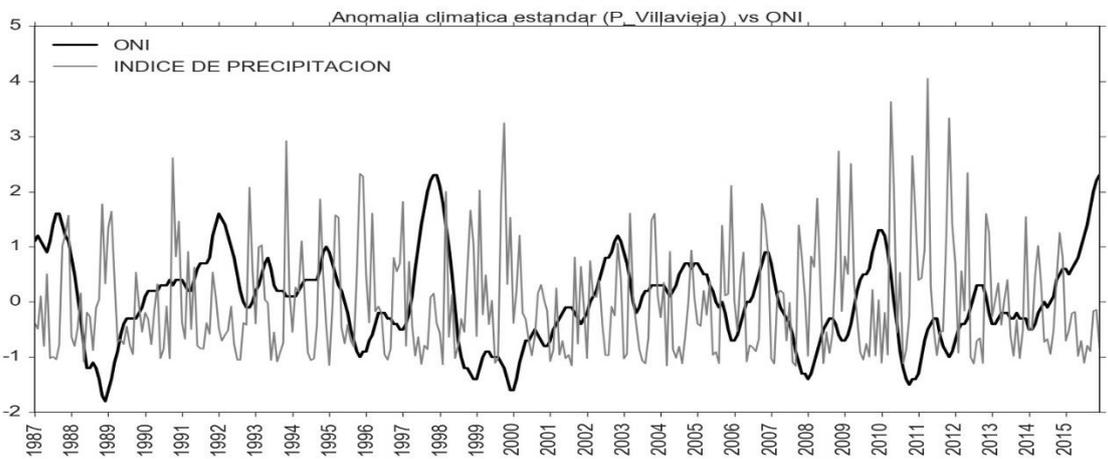
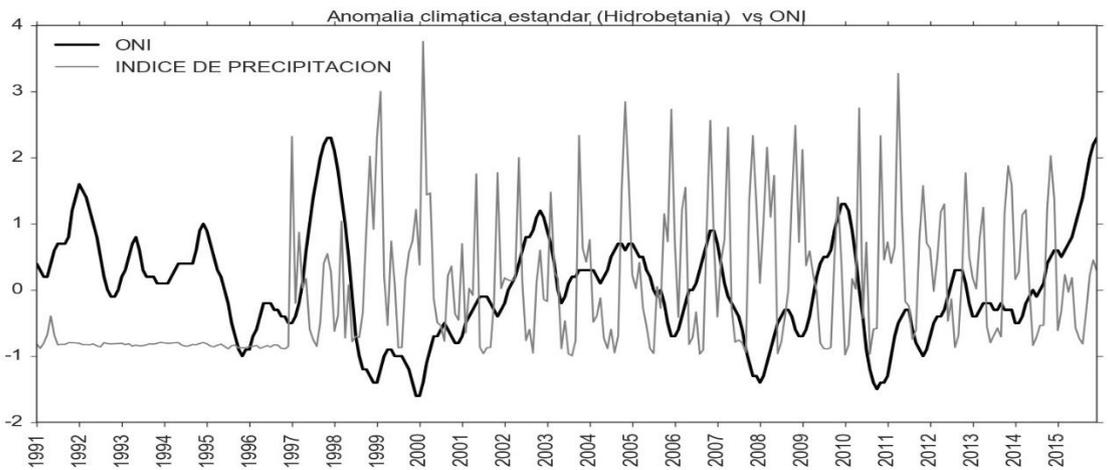
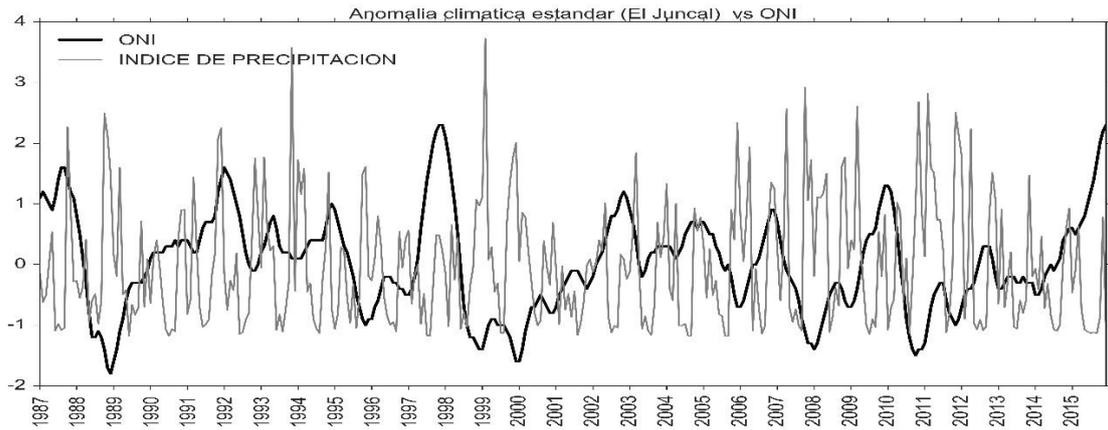
En el análisis de precipitación para la estación Hidrobetania del periodo 1987 a 2015 se presenta una precipitación anual de 1232.3 mm; la precipitación durante este periodo se distribuye presentando dos periodos de lluvias entre los meses de Marzo a Mayo y Octubre a Diciembre, separados por un periodo seco comprendido entre los meses de Junio a Septiembre. Los meses menos abundantes de precipitación van desde junio hasta septiembre con registros por debajo de los 39 mm, los meses más lluviosos son Noviembre y Diciembre con precipitaciones de 198.1 y 141.5 mm respectivamente. En cuanto a la temperatura la estación Hidrobetania registra un valor medio anual de 27.2 °C. Los meses con temperaturas más bajas son Noviembre y Diciembre con una temperatura media de 26.5 °C y el mes más cálido es Septiembre con una temperatura media de 28.0 °C, lo anterior teniendo relación con la escasa precipitación registrada para el mismo mes. Con este análisis y de acuerdo a la caracterización climática de Caldas-Lang la estación Hidrobetania se encuentra ubicada en un clima Cálido Semiárido (Csa).

En el análisis de precipitación para la estación Santa María del periodo 1987 a 2015 se presenta una precipitación anual de 1522.2 mm; la precipitación durante este periodo se distribuye, presentando dos periodos de lluvias entre los meses de Marzo a Mayo y Octubre a Noviembre, separados por un periodo seco comprendido entre los meses de Junio a Septiembre. Los meses menos abundantes de precipitación son Julio y Agosto con registros por debajo de los 66 mm, los meses más lluviosos son Abril y Noviembre con precipitaciones de 193.1 y 198.9 mm respectivamente. En cuanto a la temperatura la estación Santa María registra un valor medio anual de 21.1 °C. Los meses con temperaturas más bajas son Noviembre y Diciembre con una temperatura media de 20.8 °C y el mes más cálido es Septiembre con una temperatura media de 21.4 °C, lo anterior teniendo relación con la escasa precipitación registrada para el mismo mes. Con este análisis y de acuerdo a la caracterización climática de Caldas-Lang la estación Santa María se encuentra ubicada en un clima Templado Semihúmedo (Tsh).

#### **7.4 Análisis de las series de índices ONI vs IP**

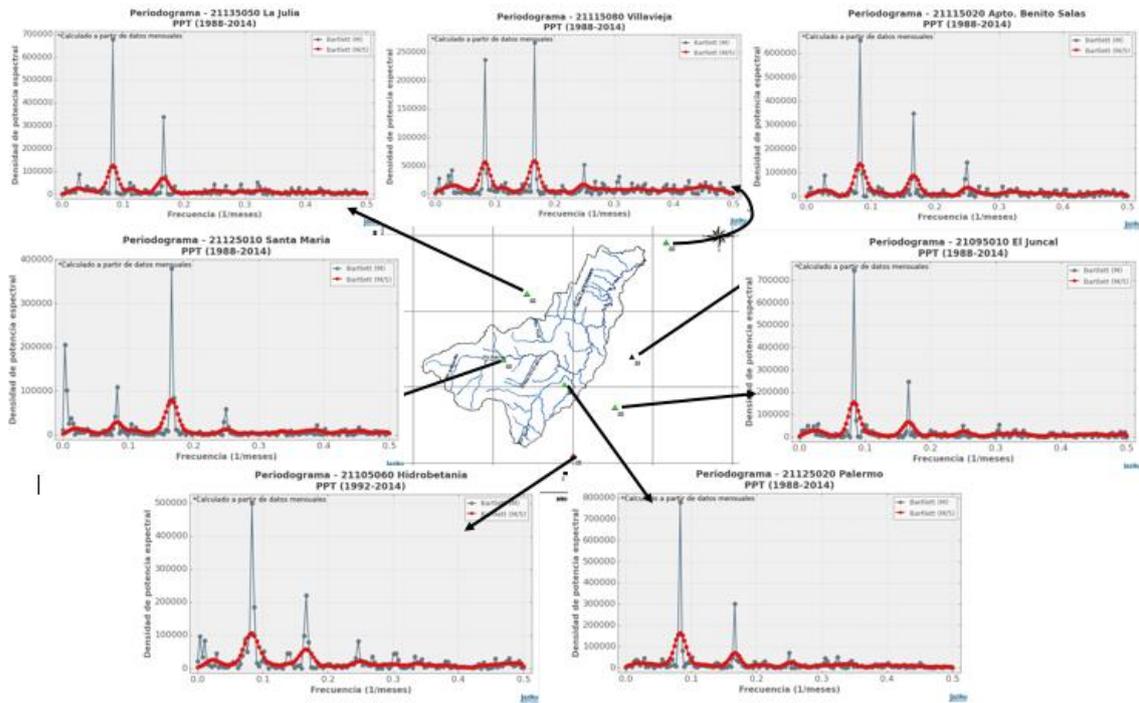
En la **Figura 16** se representan la secuencia de los índices de precipitación calculados y el índice oceánico para las diferentes estaciones climatológicas distribuidas en la zona de estudio. En la variabilidad interanual del IP es posible identificar periodos escasos de lluvia (predominios de valores negativos) o con lluvias abundantes (predominio de valores positivos extremos), corroborándose la relación inversa existente entre estos dos índices, tomando como punto de partida los valores picos de anomalía (ONI) en donde se visualiza claramente que cuando está por encima de 0.5 el índice de precipitación es bajo indicando periodo escaso de lluvias y cuando es menos de -0.5 el IP es alto indicando aumento de la precipitación.





**Figura 16.** Series de los índices de precipitación (IP) para las diferentes estaciones climatológicas de la cuenca Hidrográfica del Río Baché (Línea gris), comparada con la secuencia del índice del niño oceánico.  
 Fuente: (García P. & Castillo H. 2017)

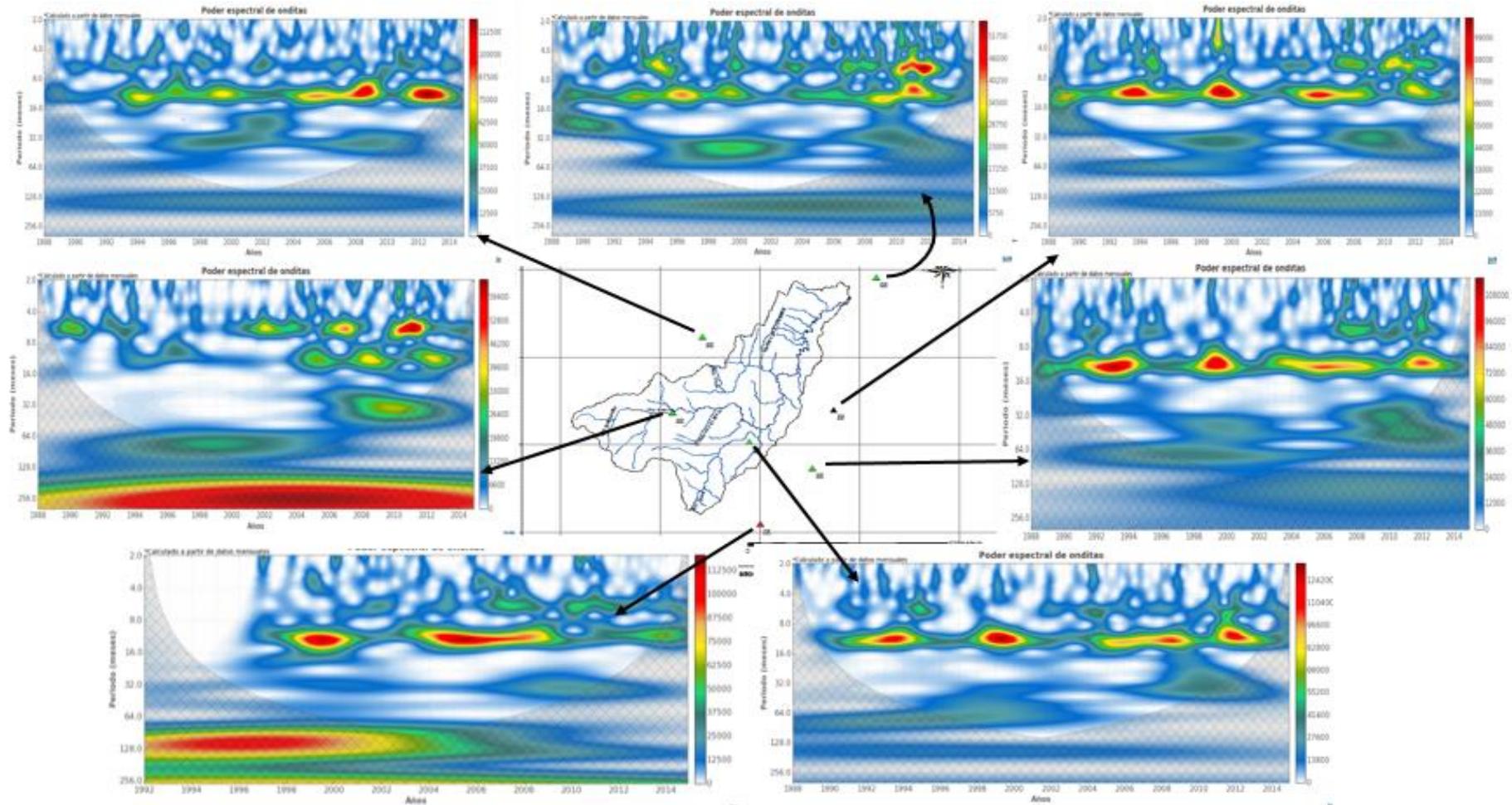
## 7.5 Análisis espectral - Fourier



**Figura 17.** Periodogramas  
Fuente: (García P. & Castillo H., 2017)

Con este tipo de análisis espectral en función de la frecuencia, se hace más evidente la estacionalidad de las series de lluvia, en los Periodogramas correspondientes de la **Figura 17** se observa que los mayores valores de potencia espectral se encuentran en la franja de alta frecuencia y se representan algunos picos que corresponde a la componente cíclica interanual de 6 a 12 meses (frecuencia de 0.18 y 0.08) influenciado por el doble paso de la ZCIT por el territorio colombiano, en armonía con sus comportamientos de dos máximos de lluvias y dos de menor precipitación, respectivamente, como lo se observó anteriormente en el análisis de box-plot y como lo reporta Montealegre (2009).

## 7.6 Análisis espectral – Wavelet



*Figura 18. Análisis espectral Wavelet para todas las estaciones de la zona de estudio  
Fuente: (García P. & Castillo H. 2017)*

**Tabla 20.** Consenso para clasificación de diferentes fases del ENSO según índices ONI, MEI y SOI.

El Niño			La Niña			Normal o NO ENSO 1	
Débil	Moderado	Fuerte	Débil	Moderado	Fuerte		
1963-64	1951-52	1965-66	1954-55	1950-51	1955-56	1952-53	1953-54
1968-69	1957-58	1972-73	1956-57	1970-71	1973-74	1958-59	1959-60,
1969-70	1977-78	1982-83	1962-63	1998-99	1975-76	1960-61	1961-62
1976-77	1987-88	1991-92	1964-65	2000-01	1988-89	1966-67	1978-79
1986-87	1994-95	1997-98	1967-68	2007-08	2010-11	1979-80	1980-81
1992-93	2002-03	1971-72				1981-82	1983-84
2004-05	2009-10	1974-75				1985-86	1989-90
2006-07	1984-85					1990-91	1993-94
1995-96						1996-97	2001-02
1999-00						2003-04	2005-06
2008-09							

*Fuente: Bedoya, Contreras & Ruiz., (2010); Tomado de Nogales & Salazar (2016)*

Los resultados de la descomposición espectral mediante Wavelet para la anomalía de precipitación en la estación La Julia, muestran una componente cíclica de 34 meses (**Figura 18**), coincidiendo los máximos y mínimos con las fases humedad y calidad del ENSO respectivamente, como lo reporta González (2015) diciendo que los ciclos más destacados en las anomalías de la temperatura superficial del mar 1, 3, 5 y 7 años respectivamente. Por otra parte, se observa como los eventos del ENSO de 1987, 2008, 2009 – 2010, 2014 fueron de gran influencia en esta zona de la cuenca corroborándose con los datos de la **Tabla 20** y la información de las series de anomalías presentado por el centro de predicción climática NOAA. También se observa ciclos cortos de 2 a 12 meses, influenciados en gran parte por el doble paso de la ZCIT el cual puede sufrir variaciones según prevalezca la influencia de los alisios del norte de los alisios del sur, circulaciones valle montaña por estar cerca de la cordillera central y características fisiográficas locales (Gonzales, 2015), este mismo componente cíclico se presenta en general en todas las estaciones de la zona de estudio.

La estación Sta. María muestra una componente cíclica de 5 años asociadas al fenómeno de variabilidad climática ENSO, además se presenta un poder espectral bastante alto en la componente cíclica de 11 años, asociados a ciclos de mancha solar, como lo afirma González (2015). Este mismo comportamiento cíclico se observa en la estación Hidrobetania y en menor tamaño y poder espectral en Villavieja, Apto Benito Salas y La Julia.

En general en las demás estaciones se evidencia de manera clara la influencia del ENSO en un componente cíclico que va de los 12 a los 84 meses, con una tendencia en mayor tamaño y poder espectral de las señales situadas en los años 1997-1998 y 2014-2015, periodos en el cual se presentó el evento cálido intenso NIÑO siendo el segundo en mención catalogado como el más fuerte de la historia reciente y los años 2010-2011 periodo de evento lluvioso ÑINA de gran impacto a nivel nacional, como se corrobora en la **Tabla 20**.

## 7.7 Conflicto de uso del suelo

El conflicto de uso del suelo se presenta por la discrepancia entre el uso que debería tener el suelo, de acuerdo con su oferta ambiental, y aquel al que está expuesto por las actividades humanas (IGAC y Corpoica, 2002). Un uso del suelo diferente al potencial pone en grave peligro la calidad del recurso suelo (Naizaque, 2001; IGAC y Corpoica, 2002), pudiéndose llegar a situaciones en las que una avanzada erosión dificulte la producción agropecuaria y la recuperación ambiental de la cuenca, al reducirse la fertilidad y la capacidad de almacenamiento de agua del suelo (Gonzales, 2005).

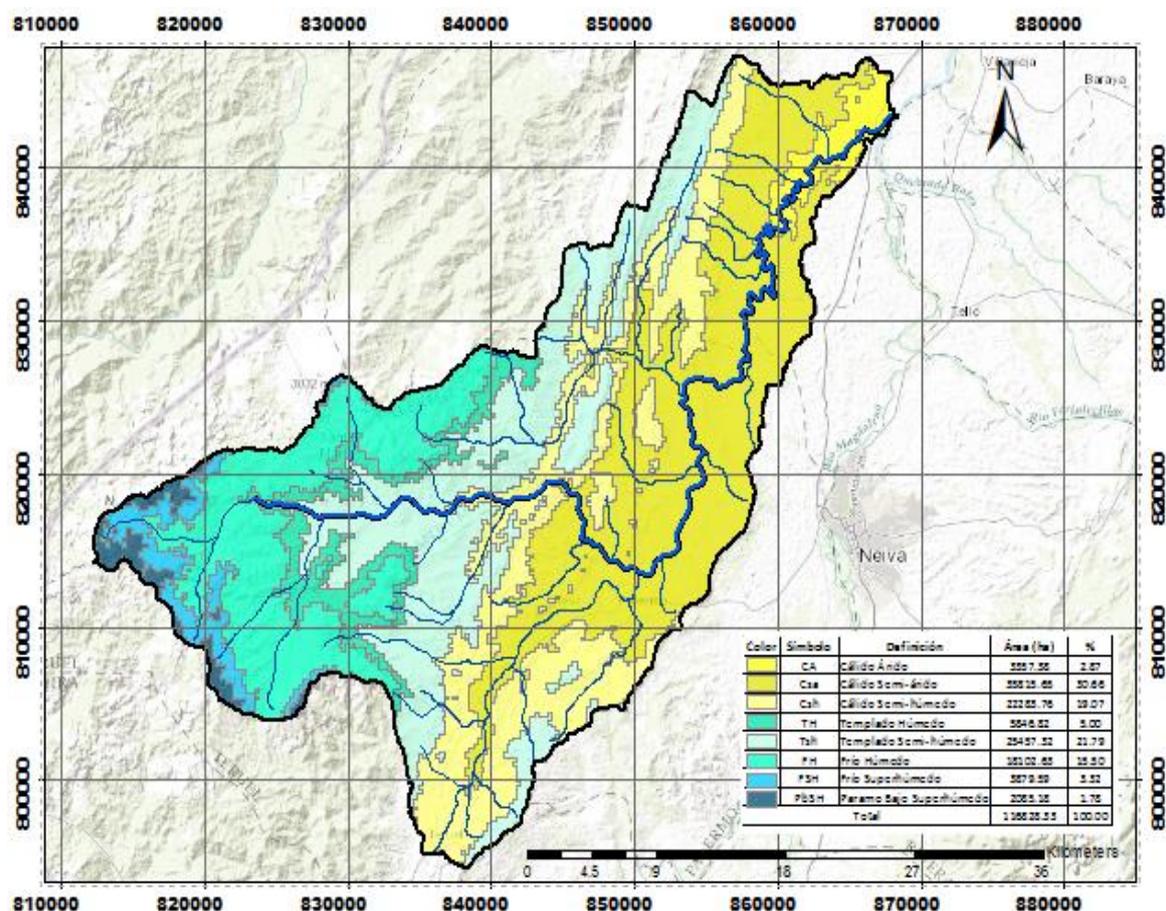
Según el Instituto Geográfico Agustín Codazzi (2012), el departamento del Huila está conformado por 1.815.167 hectáreas, de las cuales 889.431 con suelos en proceso de deterioro; el Huila tiene casi el 36% de su área bajo esquemas de uso adecuado del suelo, un 39% del departamento corresponde a conflictos por sobreutilización, un 10% a conflictos por sobreutilización y un 15% a zonas sin conflicto o sin delimitar (Ministerio de Agricultura, 2013).

Ahora bien, en el caso de la cuenca hidrográfica del Río Baché al igual que los índices del departamento del Huila, basado en datos del IGAC (2014), se puede afirmar que cerca de un 49% de las áreas de esta se encuentran bajo conflicto de uso, de los cuales un 39 % se encuentran en sobreutilización y un 10 % presentan subutilización; pero la realidad es otra, teniendo en cuenta que sobre los municipios que conforman la cuenca hidrográfica del Río Baché, se desarrollan todo tipo de actividades agropecuarias y la situación cultural, económica y social que se vive en la misma, ha hecho que un pequeño grupo de apuestas productivas se sostengan a lo largo de los años, pasando por alto el concepto de “conflicto de uso del suelo”, de igual forma en cuanto a economía se refiere cada agricultor actualmente busca la forma de generar ingresos significativos y solamente un grupo muy limitado de estas apuestas productivas generan estabilidad económica digna para quienes trabajan la tierra, entre las cuales se encuentra el café, el cacao, el arroz, algunos monocultivos como el frijol y el maíz y las pasifloras, que de alguna forma hacen valer el tiempo, el esfuerzo y la dedicación de los agricultores a la hora de vender estos productos.

El apoyo que se viene dando a estas apuestas productivas es de vital importancia para la agricultura y el departamento el cual cuenta con diferentes federaciones como el comité de cafeteros, Fedearroz, Fedecacao, el Cepass por el lado de las pasifloras, al igual que las redes de apoyo interinstitucional que se pueden ver en la **Tabla 22**, y de mucha importancia las asociaciones veredales en los diferentes municipios que conforman la cuenca, de las cuales queda constancia por medio de las visitas a campo; de tal forma hoy por hoy el concepto de conflicto de uso del suelo para el agro Colombiano es más que una superstición, un claro ejemplo para Colombia es Israel, este país que a pesar de su escasa disponibilidad del recurso hídrico y la mala condición de sus suelos, actualmente produce el 95% de sus necesidades alimentarias, así como también una amplia gama de productos para la exportación, la agricultura juega un papel importante en la economía del mismo (Israeli Government Minister), el éxito de la agricultura israelí ha sido posible gracias a la investigación científica y al uso de tecnologías avanzadas que se aplican principalmente en programas de roturación de tierras y de regadío (Acuña, 2015), de esta forma ¿Es Israel un país apto para la agricultura en cuanto a conflicto de uso nos referimos?, es evidente que en materia tecnológica el agro Colombiano presenta limitaciones severas, por lo cual se deben desarrollar propuestas tecnológicas que intensifiquen la recuperación de suelos con sobreutilización y suelos en conflicto de uso, al igual que potencializar la producción en los diferentes renglones productivos y no generar incertidumbres en cuanto al suelo y su manejo que lleven al productor al fracaso en la producción agropecuaria. (ANEXO P. Mapa de conflictos de uso del suelo).

## 7.8 Caracterización Climática

### 7.8.1 Caldas Lang



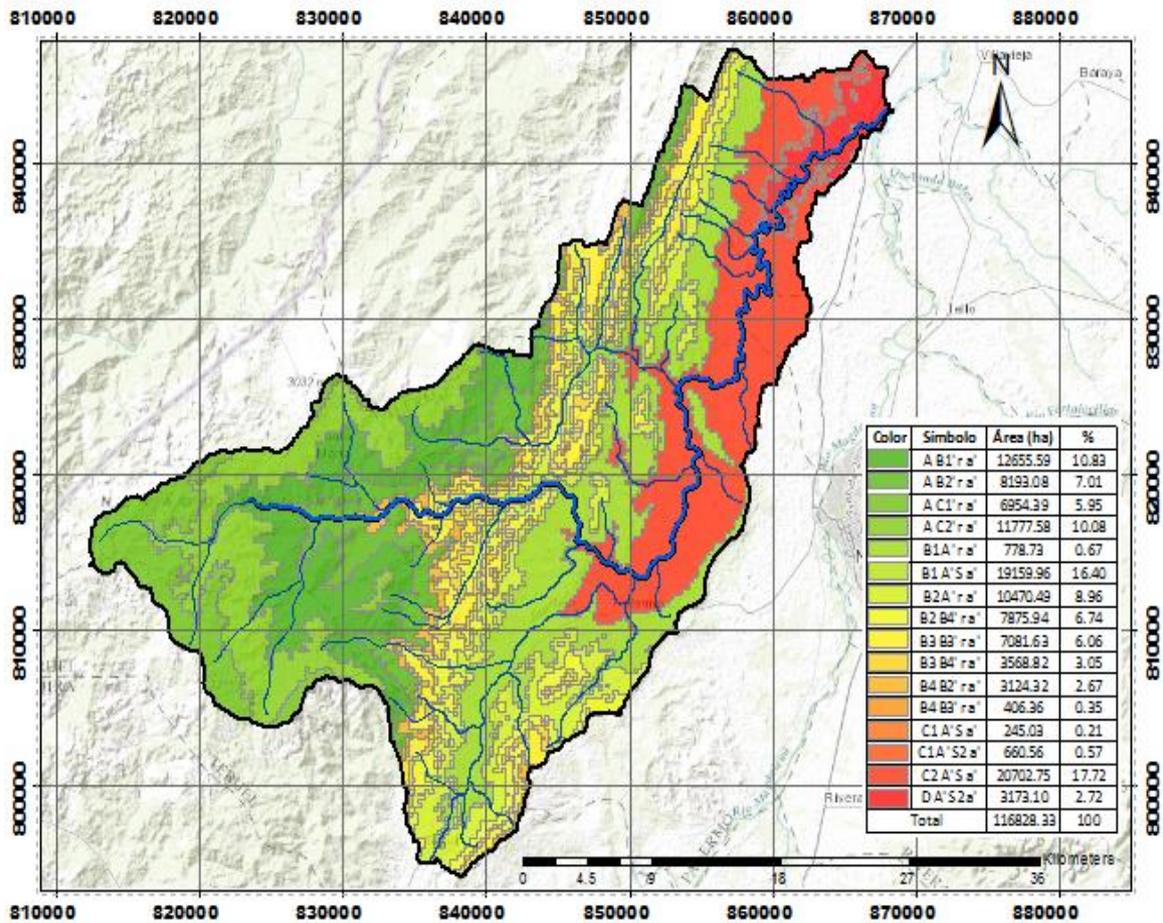
**Figura 19.** Clasificación Climática de Caldas Lang

Fuente: (García P. & Castillo H., 2017)

La clasificación climática de Caldas-Lang está basada en la variación de la temperatura con la altitud (Gradiente térmico vertical) y una sencilla relación entre la precipitación y la temperatura, esta aplica para el trópico Americano (Boada, 2011).

Según la clasificación climática de caldas Lang la cuenca hidrográfica del Río Baché presenta ocho diferentes tipos de clima entre los cuales se encuentran el CA (Cálido Árido), Csa (Cálido Semiárido), Csh (Cálido Semihúmedo), Tsh (Templado Semihúmedo), TH (Templado Húmedo), FH (Frío Húmedo), FSH (Frío Superhúmedo) y PbSH (Paramo Bajo Superhúmedo). Como se puede apreciar en la **Figura 19**, según Caldas Lang, en la cuenca predominan los climas de tipo cálido abarcando un 52.6% del área total de la cuenca, seguido este se encuentran los climas de tipo Templado los cuales abarcan un 26.79% del área total de la cuenca, luego se encuentran climas de tipo frío abarcando un 18.82% del área de esta y por en la clasificación se encuentran los páramos bajos con tan solo un 1.78% cubierto en la cuenca.

### 7.8.2 C. W. Thornthwaite

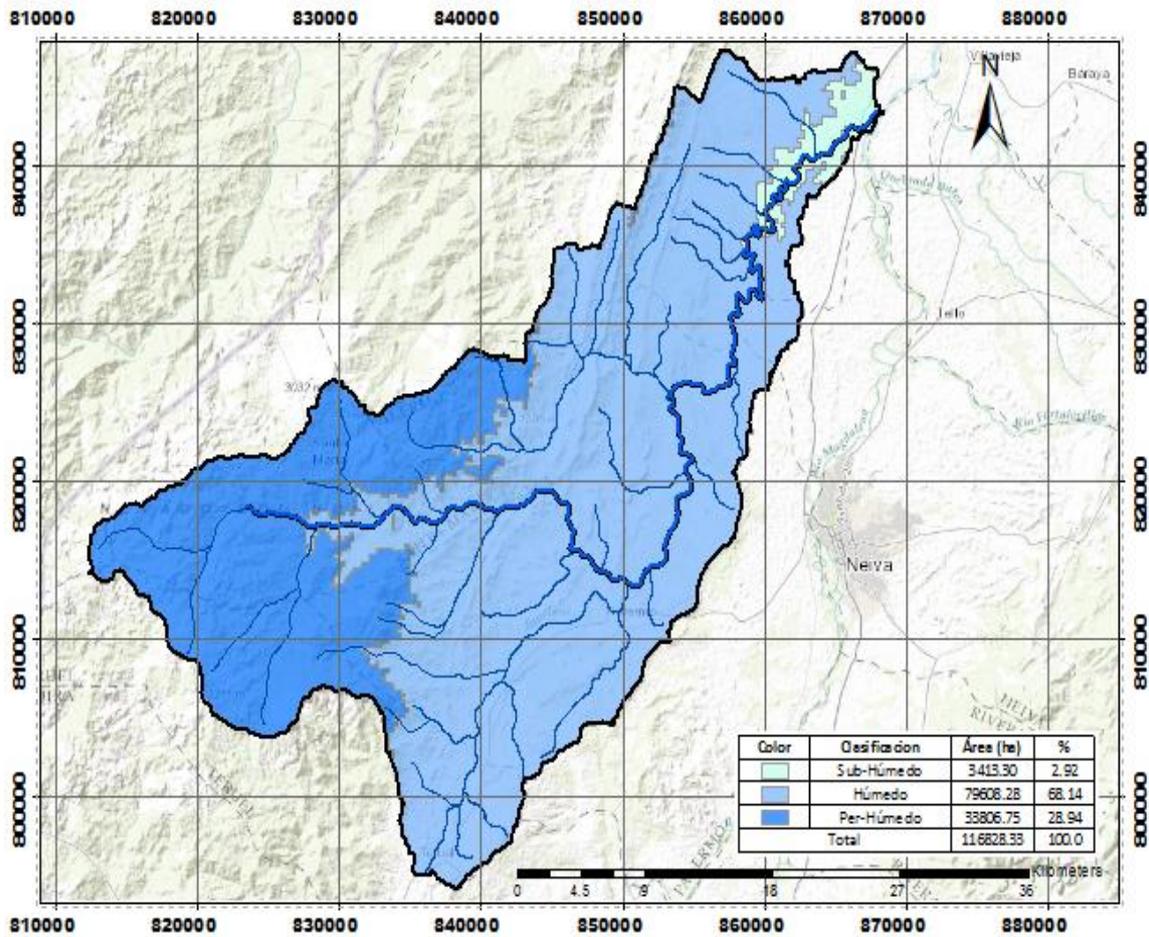


**Figura 20.** Caracterización Climática de Thornthwaite

Fuente: (García P. & Castillo H., 2017)

Según la clasificación climática de Thornthwaite (**Figura 20**), el índice más importante para esta es la primera letra o característica llamada Índice Global de Humedad (**Tabla 7**), de esta forma sobre la cuenca hidrográfica del Río Baché se obtienen cuatro diferentes climas según Thornthwaite clasificados de tipo A, B, C y D, para los cuales el clima tipo A o Súper Húmedo, se encuentra localizado sobre la parte alta de la cuenca, y abarca aproximadamente un 33.87% del total del área de esta. Otro tipo de clima es el tipo B o Clima Húmedo, el cual se divide a B<sub>1</sub> (Ligeramente Húmedo), B<sub>2</sub> (Moderadamente Húmedo), B<sub>3</sub> (Húmedo) y B<sub>4</sub> (Muy Húmedo) dependiendo de la magnitud del Índice Global de Humedad, pero el cual conserva la característica de Húmedo para estos cuatro rangos, de esta forma en el rango B<sub>1</sub> a B<sub>4</sub> abarca aproximadamente el 44.90% del área total de la cuenca y es el clima de mayor extensión en la misma. Al igual que el clima tipo B, el tipo C se subdivide en 2 clases llamadas C<sub>1</sub> (Seco a Sub-Húmedo) y C<sub>2</sub> (Sub-Húmedo a Húmedo) los cuales abarcan un 18.5% del área total de la cuenca. Por último, el clima tipo D (Semiárido) localizado en la zona más baja de la cuenca abarca tan solo un 2.72% del área total de esta y es así el tipo de clima con menor proporción de área abarcada en la misma.

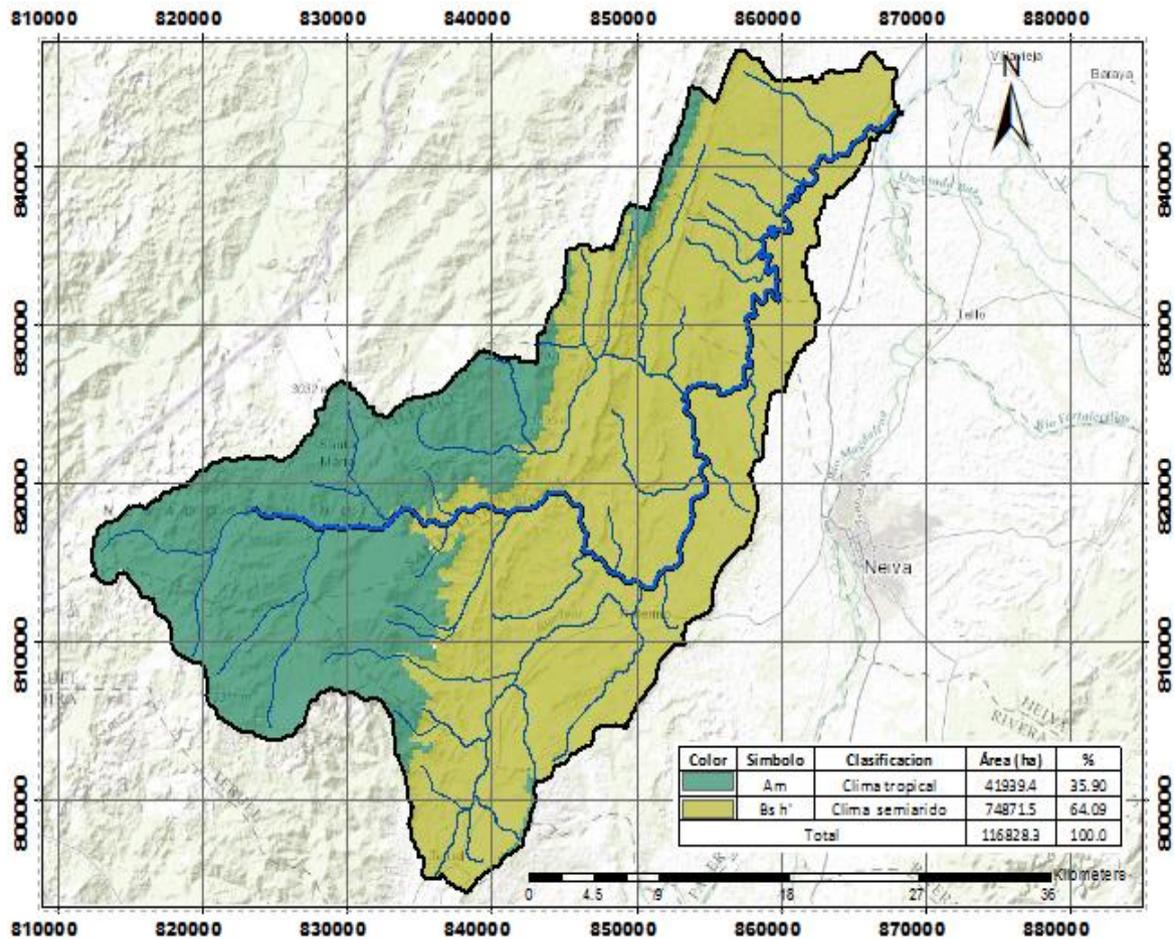
### 7.8.3 Martonne



**Figura 21.** Caracterización Climática de Martonne  
 Fuente: (García P. y Castillo H., 2017)

Mediante la clasificación climática a escala global de Martonne (**Figura 21**) la cuenca hidrográfica del Río Baché se clasifica mediante 3 diferentes tipos de clima, el primero y presente sobre las zonas más bajas de la cuenca es el clima Sub-húmedo abarcando un 2.92% del área de la cuenca, el segundo tipo de clima es el Húmedo presente en la zona media-alta de la cuenca, siendo este el que abarca mayor extensión en la cuenca con un 68.14% del área de la misma; por último el clima Per-Húmedo localizado en la zona más alta de la cuenca, abarca cerca del 28.94% del área de la misma y es el segundo clima con mayor extensión sobre esta.

## 7.8.4 Koppen



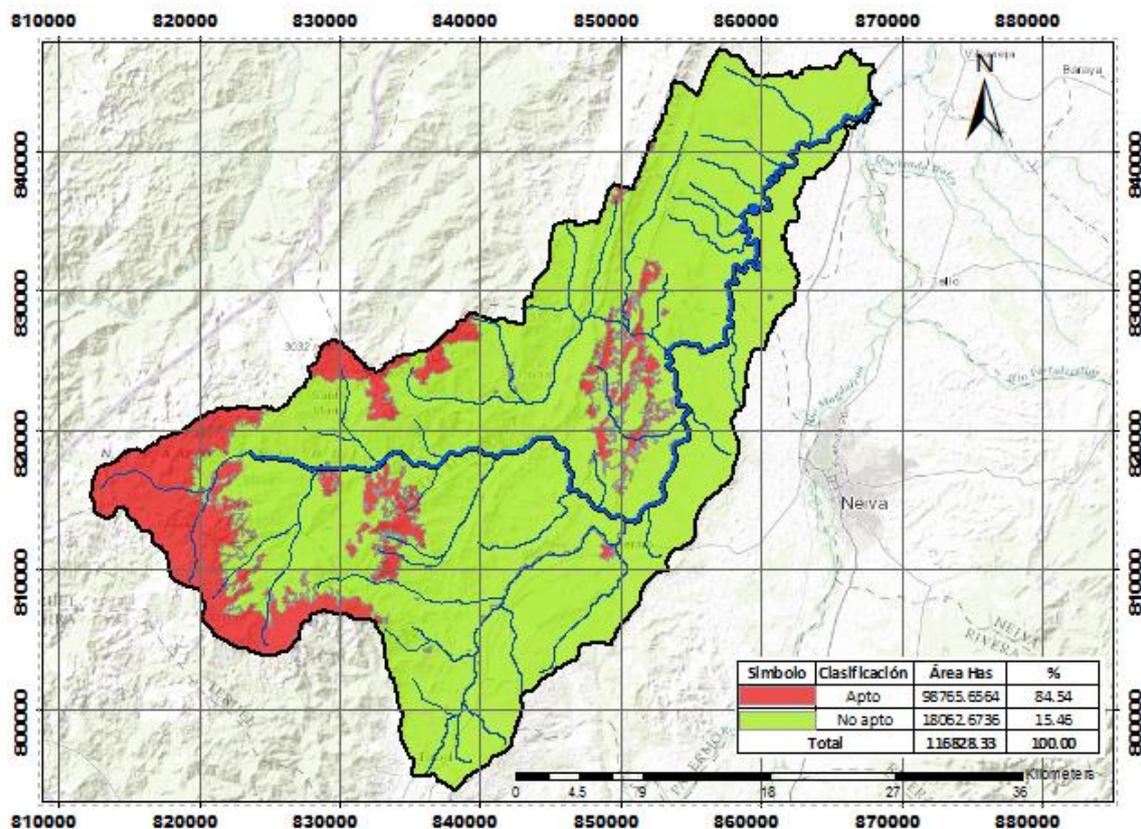
**Figura 22.** Caracterización Climática de Koppen  
Fuente: (García P. & Castillo H., 2017)

Según la caracterización Climática a escala global de Koppen (**Figura 22**), sobre la cuenca hidrográfica del Río Baché se identifican dos tipos de clima, el primero y ubicado en la zona baja de la cuenca es el clima Tropical, el cual abarca un 35.90% del área total de la cuenca y el segundo según la clasificación es el Clima Semiárido el cual abarca un 64.09% del área total de la cuenca.

## 7.9 Propuesta de ordenamiento productivo agrícola para la cuenca Hidrográfica Río Baché y localización geográfica de los Sistemas Productivos de mayor impacto en la cuenca hidrográfica Río Baché

### 7.9.1 Planeación estratégica

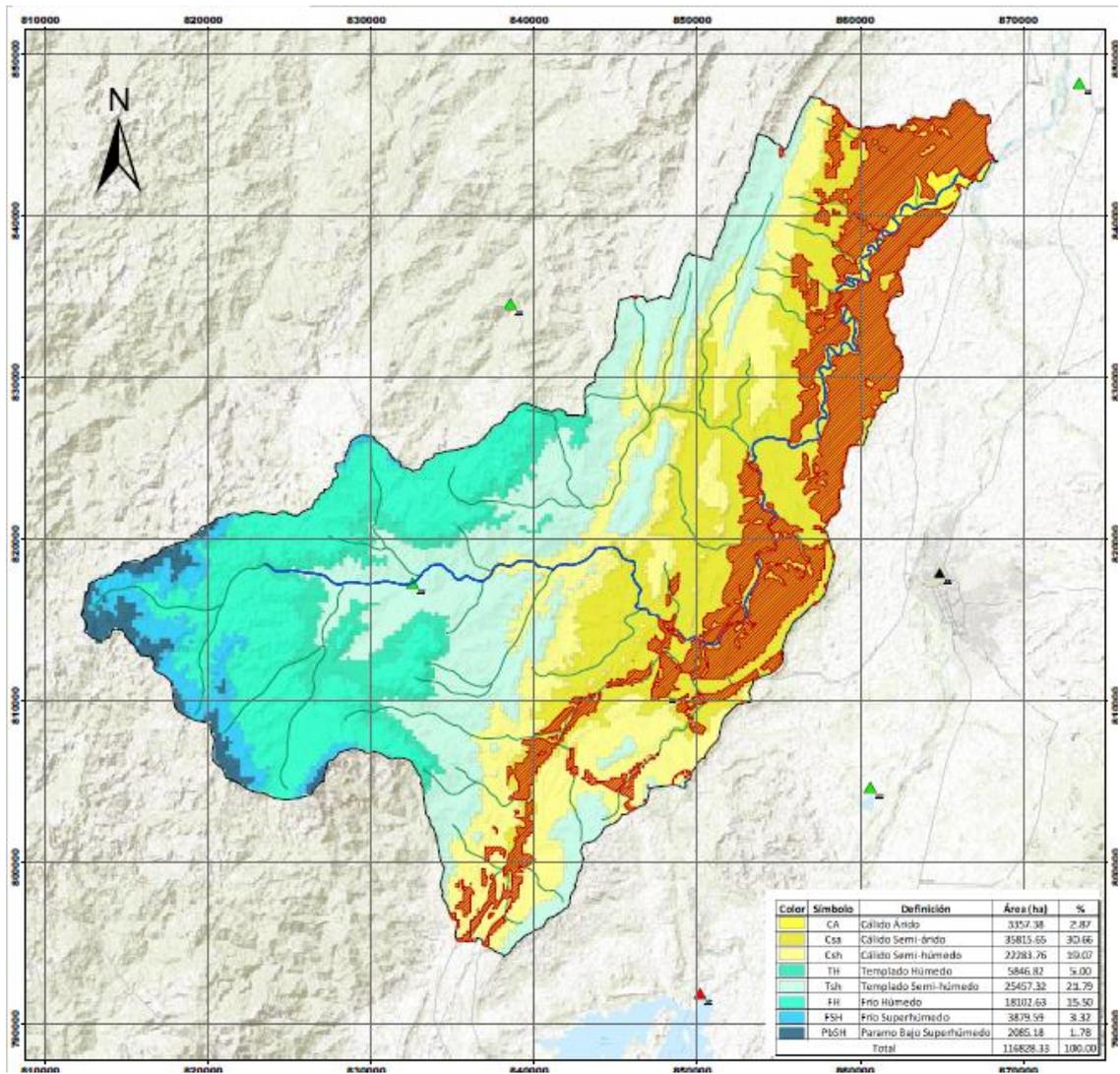
En primera instancia se formula de manera adecuada la estructura del árbol de decisión con base en un conocimiento previo de la zona de estudio en un ámbito social, cultural, productivo (Trabajo de campo), para generar una interacción de forma amena con las diferentes variables en cada uno de los nodos en el árbol de decisión. Inicialmente se desea saber cuáles son las zonas aptas para cultivar cruzando información espacial de uso y cobertura actual del suelo, la distancia euclidiana en funciones del coste y pendientes (**Figura 23**).



**Figura 23.** Zonas aptas y no aptas para la producción agrícola  
Fuente: (García P. & Castillo H., 2017)

Las zonas de color rojo no son aptas para desarrollar actividades productivas, y corresponden a zonas de protección y reserva forestal, áreas de exclusión por pendientes mayores a 45°, tejido urbano continuo, tejido urbano discontinuo y cuerpos de agua. Una vez establecidas las zonas aptas y no aptas para la producción agrícola, se procede a filtrar la información de cada cultivo (requerimientos agrologicos) organizados en tablas de orden (ANEXO BB. Tablas de orden con información de requerimientos agrologicos de cultivos), por medio de los 4 nodos siguientes: Elevación, Precipitación, Temperatura, Textura.

Con base en los resultados obtenidos con la aplicación de estas herramientas tecnológicas y teniendo en cuenta que el 70% de la población censada se dedica a la producción agropecuaria con la implementación de cultivos agrícolas permanentes, semipermanentes y transitorios, se determinaron los siguientes sistemas de producción agrícola ante todo por el entendimiento de las interacciones de factores y procesos de producción en coherencia con el medio biofísico, social, económico y cultural: Arroz, Café, Cacao, policultivos (Asociación de Frijol-Maíz) y Pasifloras.



**Figura 24.** Caracterización Climática de Caldas Lang y distribución espacial para el cultivo de arroz

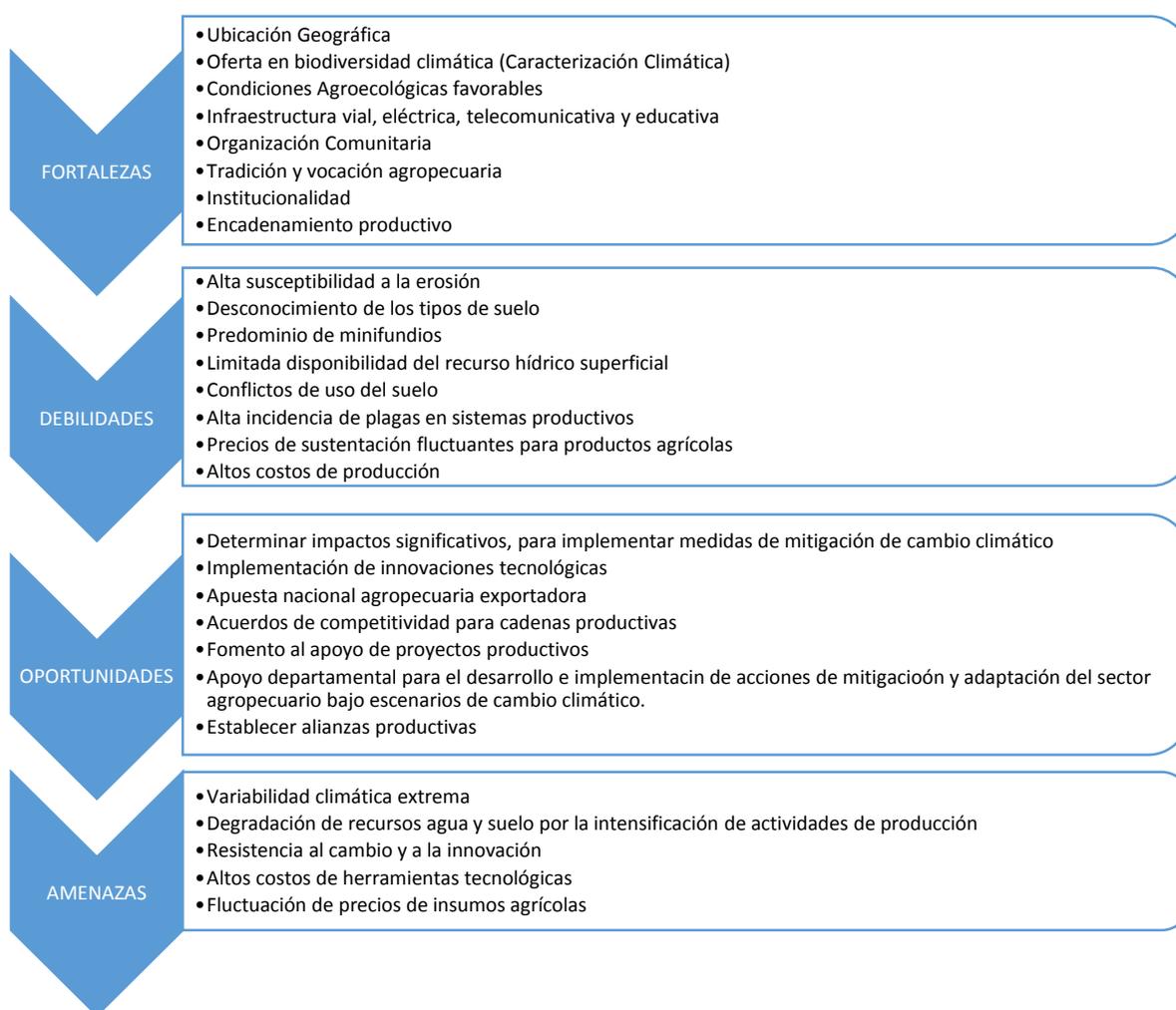
*Fuente: (García P. & Castillo H., 2017)*

En la **Figura 24**, se puede apreciar como insumo final la distribución espacial óptima para el cultivo de arroz, de acuerdo a las variables establecidas para este sistema productivo en el árbol de decisión; al cruzar la distribución espacial para el cultivo de arroz con la caracterización climática de Caldas Lang, se observa que la distribución del mismo se da principalmente en los climas de tipo Cálido, como lo son el Cálido Árido, el Cálido Semiárido y el Cálido Semihúmedo, y los cuales están ubicados en la zona más baja de la cuenca hidrográfica del Río Baché.

### 7.9.2 DOFA – Cuenca hidrográfica Río Baché

Teniendo en cuenta los referentes obtenidos a través de entrevistas, encuestas, instrumentos censales y la observación directa del equipo de trabajo se identificaron las principales fortalezas, debilidades, oportunidades y amenazas, de la cuenca del Río Baché con el fin de determinar en forma exploratoria las capacidades socioeconómicas y los requerimientos para soportar en forma general una propuesta de ordenamiento productivo agrícola de los cultivos mencionados anteriormente.

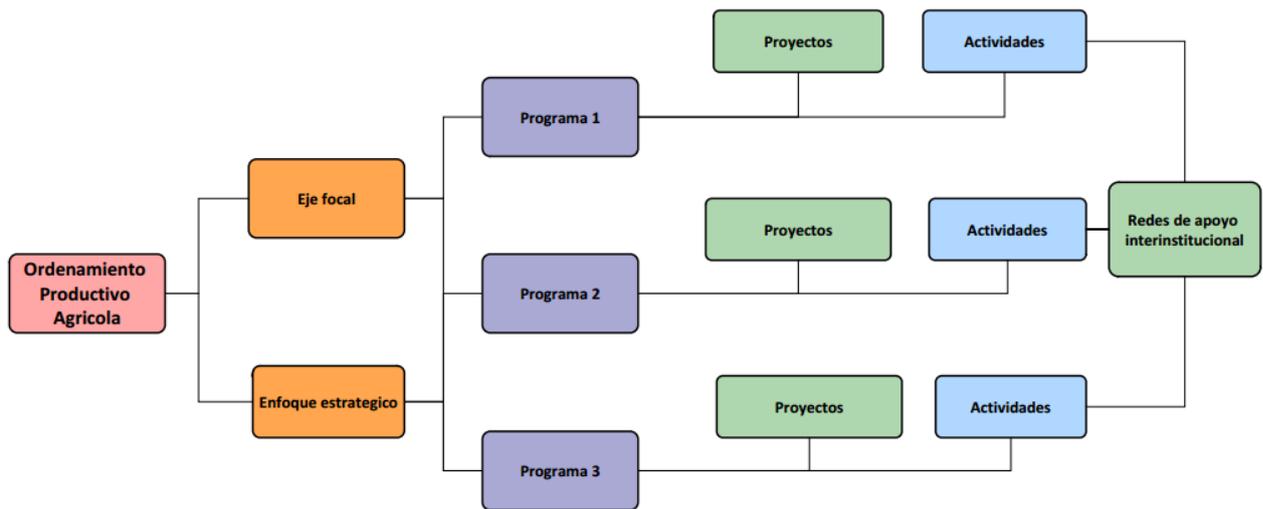
**Tabla 21. Matriz DOFA - Cuenca Hidrográfica Río Baché**



*Fuente: (García P. & Castillo H., 2017)*

### 7.9.3 Formulación propuesta de ordenamiento productivo en la cuenca hidrográfica Río Baché

La zona influenciada por la cuenca hidrográfica del Río Baché presenta problemas de productividad, asociados al uso ineficiente de los recursos naturales y a los efectos negativos de los fenómenos de variabilidad climática; por tal motivo se presenta a continuación una propuesta de ordenamiento productivo como primera aproximación, generada a partir del reconocimiento previo de la zona de estudio, sus sistemas productivos de importancia, capacidad productiva y potencialidades, y los resultados obtenidos a partir de la interacción de diferentes variables mediante un sistema inteligente (Árbol de decisión, **Figura 7**), la cual servirá como herramienta para la toma de decisiones en el sector agrícola, la seguridad alimentaria y la competitividad local de la zona de estudio:



**Figura 25. Diagrama Propuesta de Ordenamiento Productivo**  
Fuente: (García P. & Castillo H., 2017)

En base al esquema propuesto en la **¡Error! No se encuentra el origen de la referencia.**, se genera la siguiente propuesta de ordenamiento productivo para la cuenca hidrográfica del Río Baché:

**Tabla 22. Propuesta productiva en la cuenca hidrográfica Río Baché**

Contexto	Eje Focal	Enfoque estratégico	Programas	Proyectos	Actividades	Redes de Apoyo Interinstitucional
Ordenamiento productivo Agrícola	Eficiencia de producción y Seguridad Alimentaria	Uso eficiente de los recursos Biofísicos (Suelo, Agua, Clima, Biodiversidad) en la producción de: café, cacao, arroz, policultivos (Frijol-Maíz) y Cholupa.	Conocimiento uso y protección de recursos naturales	Caracterización y distribución de los recursos biofísicos en los sistemas de producción de Café, Cacao, arroz, Policultivos (Frijol-Maíz) y Cholupa.	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Determinar variabilidad espacial georreferenciada de los suelos.</li> <li>- Definir prácticas asociadas de manejo y/o agricultura específica por sitio.</li> <li>- Implementar planes de modelación de escenarios de riesgos en variabilidad climática.</li> <li>- Elaborar mapas de rendimiento incluyendo variables de fertilidad.</li> <li>- Implementar planes de capacitación del reúso del agua.</li> <li>- Implementar planes de capacitación ambiental de manejo integral de recurso hídrico.</li> <li>- Establecer pérdidas de suelo por escorrentía en los diferentes sistemas de producción.</li> <li>- Implementar prácticas conservacionistas, mediante la incorporación de materiales orgánicos y siembra de arvenses.</li> <li>- Implementar prácticas de compostaje como alternativas de producción.</li> <li>- Mejoramiento de la fertilidad natural de los suelos con enfoque hacia producción limpia.</li> <li>- Valorar alternativas de tratamiento de residuos generados en la producción agropecuaria.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Ministerio de agricultura y desarrollo rural</li> <li>CAM</li> <li>Gobernación de Huila</li> <li>Alcaldías municipales</li> <li>SENA</li> <li>Comité de cafeteros</li> <li>Comité nacional de pasifloras</li> <li>Fedearroz</li> <li>Fedecacao</li> <li>USCO-CORHUILA</li> <li>COLCIENCIAS</li> </ul>

					<ul style="list-style-type: none"> <li>- Determinar patrones de asociación de cultivos dependiendo de la variabilidad físico-química de los suelos.</li> <li>- Establecer evaluación económica y financiera de los sistemas de producción propuestos.</li> </ul>	
			Programa de divulgación y transferencia tecnológica	Divulgación y transferencia tecnológica	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Diseñar e implementar redes comunicativas que trascienda a las instituciones, empresas y organizaciones gremiales frente a la necesidad de interpretar el cambio climático como amenaza latente.</li> <li>- Implementar métodos de extensión individual y grupal con el fin de divulgar resultados de programas y proyectos mencionados.</li> </ul>	
				Educación Ambiental	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Desarrollar y fortalecer campañas de educación ambiental en las comunidades con asiento en la cuenca.</li> <li>- Implementar campañas de capacitación y sensibilización en la necesidad de conservar, recuperar y manejar recursos naturales.</li> </ul>	
			Gestión y administración	Sistemas de producción agrícola rentables y sostenibles	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Formular planes agronómicos de agricultura comercial y agroindustrial en los sistemas de producción propuestos.</li> <li>- Implementar planes de capacitación en secado, transformación, clasificación y empaque.</li> <li>- Establecer estrategias de comercialización y mercadeo para ampliar mercado regional y nacional e incursionar en los internacionales</li> </ul>	
				Planeación operativa formulación y gestión de proyectos	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Formular e implementar proyectos productivos agrícolas, con criterios de sostenibilidad.</li> <li>- Apoyar trámites de mecanismos para canalizar recursos externos.</li> <li>- Implementar incentivos en organizaciones comunitarias que adelanten acciones de conservación de recursos biofísicos.</li> <li>- Capacitación en administración rural y empresarial</li> </ul>	
				Infraestructura	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Construir mantener y monitorear plantas de tratamiento con fines domésticos.</li> <li>- Promover la construcción de pozo séptico y alcantarillados rurales.</li> <li>- Promover la construcción de secadores comunitarios empleando fuentes de energía alternativa.</li> </ul>	

Fuente: (García P. & Castillo H., 2017)

## 8. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

- \* La dinámica del clima actual mostrada en el análisis climático de apartados anteriores de la cuenca hidrográfica río Baché, demuestra estar influenciada en gran parte por el paso de la zona de confluencia intertropical en una componente cíclica de un año, presentando también gran influencia del fenómeno ENSO con ciclicidad de 3 a 7 años aproximadamente y con presencia de señales anómalas debido a fenómeno con ciclicidad mayor a 10 años (Como son las manchas solares, entre otros), y su interacción disminuyen o aumentan en niveles significativos la oferta hídrica de la zona, que asociado a la contaminación de carácter antrópico y al uso inadecuado del suelo, afectan el desarrollo adecuado de los cultivos e impactos económicos y baja competitividad.
- \* La tendencia climática identificada por medio de los Climogramas, muestra que sobre la cuenca se presentan dos periodos de sequía intercalados por dos periodos de lluvia a lo largo del año en cada una de las estaciones; lo anterior permite a los agricultores establecer periodos de siembra en base a las necesidades hídricas de cada cultivo, calendarios de riego o prepararse para épocas de sequía.
- \* La respuesta de la variable hidro-meteorológica de precipitación en la cuenca río Baché tiene un tiempo de respuesta de 1 a 2 meses, después de la ocurrencia del fenómeno de variabilidad climática del ENSO, este mediante los índices IOS y MEI, y una respuesta directa con el índice ONI.
- \* Según la clasificación climática de caldas Lang la cuenca hidrográfica del Río Baché presenta 8 diferentes tipos de clima entre los cuales se encuentran el CA (Cálido Árido), Csa (Cálido Semiárido), Csh (Cálido Semihúmedo), Tsh (Templado Semihúmedo), TH (Templado Húmedo), FH (Frío Húmedo), FSH (Frío Superhúmedo) y PbSH (Paramo Bajo Superhúmedo). Como se puede apreciar en la **Figura 19**, según Caldas Lang, en la cuenca predominan los climas de tipo cálido abarcando un 52.6% del área total de la cuenca, seguido este se encuentran los climas de tipo Templado los cuales abarcan un 26.79% del área total de la cuenca, luego se encuentran climas de tipo frío abarcando un 18.82% del área de esta y por en la clasificación se encuentran los páramos bajos con tan solo un 1.78% cubierto en la cuenca.
- \* En base a la propuesta de ordenamiento productivo agrícola, se obtiene que para el cultivo de arroz los climas adecuados según Caldas Lang son el Cálido Árido, Cálido Semiárido y el Cálido Semihúmedo, el cultivo abarca un área aproximada de 28436.76 ha, un 24.3% de la totalidad de la cuenca y ubicándose a lo largo de la margen oriental de esta.
- \* El cultivo de café, se puede localizar en la cuenca según Caldas Lang en los climas Templado Semihúmedo y Templado Húmedo, abarcando un área de 17943.2 ha, un 15.2 % de la totalidad de la cuenca, localizándose en la zona central de esta.
- \* El cultivo de Cholupa, se puede localizar en la cuenca según Caldas Lang en los climas Cálido Semiárido y Cálido Semihúmedo, abarcando un área de 20435.7 ha, un 17.5 % de la totalidad de la cuenca y localizándose en la zona oriental de esta.
- \* El cultivo de maíz, se puede localizar en la cuenca según Caldas Lang en los climas Cálido Árido, Cálido Semiárido, Cálido Semihúmedo y Templado Semihúmedo, abarcando un área de 37835.8 ha, un 32.4 % de la totalidad de la cuenca, localizándose de norte a sur sobre el costado oriental de la cuenca.
- \* El cultivo de frijol, se puede localizar en la cuenca según Caldas Lang en los climas Cálido Semihúmedo y templado Semihúmedo, abarcando un área de 7843.4 ha, un 6.7% de la

totalidad de la cuenca y localizándose de forma distribuida al norte, sur y parte central de la misma.

- \* El cultivo de cacao, se puede localizar en la cuenca según Caldas Lang en los climas Cálido Semiárido, Cálido Semihúmedo y Templado Semihúmedo, abarcando un área de 8732.7 ha, un 7.5 % de la totalidad de la cuenca y localizándose de forma distribuida sobre la parte suroriental y noroccidental de la misma.

La metodología que se diseñó para la propuesta de ordenamiento agrícola, es una primera aproximación para la identificación y un análisis integral de diferentes criterios biofísicos, sociales, económicos y ambientales que influyen en la dinámica de producción de una serie de cultivos que hacen parte de la Agenda de Competitividad del departamento del Huila y en el marco del uso racional de los recursos naturales y la adaptación del sector a los fenómenos de variabilidad y cambio climático.

Se recomienda que los centros de formación en el departamento del Huila incorporen dentro de sus currículos módulos con énfasis en agricultura y cambio climático, al igual temas como la agricultura climáticamente inteligente, el uso de energías alternativas y la adaptación basada en ecosistemas, deberán volverse habituales dentro plataformas de formación. Adicionalmente, se recomienda que, en convenio con las federaciones de los gremios productores, se realicen programas de capacitación y asistencia técnica, para los productores en la cuenca, sobre cómo desarrollar cultivos adaptados y climáticamente inteligentes a partir de metodologías como la propuesta en el presente trabajo.

Se recomienda hacer este tipo de estudios a escalas de información más detalladas, con el objetivo de obtener información precisa de las variables como (Suelos y topografía) insumos importantes en la metodología propuesta de ordenamiento productivo agrícola para la cuenca hidrográfica del Río Baché.

Para la propuesta de ordenamiento productivo agrícola se pueden incorporar otras variables explicativas importantes en ciclo de desarrollo de los sistemas productivos como la profundidad radicular, Ph del suelo, régimen de humedad del suelo, que permiten de una u otra manera disminuir la susceptibilidad de los resultados.

Dada la importancia que tienen las condiciones atmosféricas sobre la disponibilidad hídrica de la cuenca, de la cual depende la evolución de los suelos, el paisaje, el desarrollo agropecuario, la fauna y la flora, es de vital importancia contar con una red de estaciones hidrológicas y meteorológicas, que permita un mejor monitoreo del clima en la región. Es importante anotar que los resultados de los estudios hidrometeorológicos dependen directamente de la cobertura de la red, la extensión de las series y la calidad de los datos, por lo que se recomienda que estas condiciones sean cumplidas por el IDEAM, que es la entidad que opera la red en el área de estudio.

Se considera importante que los resultados del presente estudio sean utilizados para fortalecer los planes de ordenamiento de los municipios que conforman la franja de la cuenca hidrográfica del Río Baché y que sean tenidos en cuenta, además, en los planes y programas de desarrollo económico de la región. Debe tenerse en cuenta que es notoria la degradación de las tierras productivas y el deterioro de la cuenca, condiciones que sumadas al cambio climático conducirían a problemas socio-económicos serios en la región. De igual manera, los resultados obtenidos en este proyecto deben ser utilizados para futuros trabajos de manejo ambiental y sostenible de la región.

La propuesta de ordenamiento productivo para la cuenca hidrográfica del Río Baché, cumple como un objetivo base para implementar programas y/o proyectos que se utilicen como estrategias de mitigación y adaptación al cambio climático, fundamentadas en los procesos ecológicos, productivos, culturales, sociales y económicos propios de estos sistemas de producción,

contribuyendo con esto a la conservación del capital natural y por ende al aprovechamiento sustentable del mismo.

Este estudio servirá para apoyar programas en los cuales se tenga interés por producir algún sistema productivo en particular o para que las actividades productivas que se realicen en la cuenca hidrográfica del Río Baché ayuden a fortalecer la economía de los productores y por lo tanto de la región y que además coadyuven a recuperar y conservar los recursos naturales existentes en cuenca.

## 9. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Acuña, M. (2015). La Agricultura en Israel (Una tecnología de punta – identidad territorial).

Alianza Clima y Desarrollo. (2012). La Gestión de Riesgos Extremos y Desastres en América Latina y el Caribe: Aprendizajes del Informe Especial (SREX) del IPCC. pp 21.

Ávila, A., Carvajal, Y. & Gutiérrez, S. (2014). Análisis de la influencia del Niño y La Niña en la oferta hídrica mensual de la cuenca del Río Cali. pp. 120-133.

Ávila, H. & Carmona, F. A. (2002). Diagnóstico de la cuenca del río Baché en el departamento del Huila y evaluación de impactos ambientales sobre el recurso hídrico.

Ávila, M., Peralta, C., Tobalina, D., Bruno, K., Freire, R. & Kure, A. (2016). Clasificación Climática según la metodología de Thornthwaite, Universidad Agraria del Ecuador.

Bedoya, M., Contreras, C. & Ruiz, F. (2010). Capítulo 7. Alteraciones del régimen hidrológico y de la oferta hídrica por variabilidad y cambio climático. Estudio nacional de agua 2010. Instituto de Hidrología Meteorología y Estudios Ambientales (IDEAM), Colombia, pp. 282-320.

Bedoya, M., Contreras, C. & Ruiz, F. (2010). Estudio Nacional del Agua (ENA).

Bernal, O. (2010). Uso del pronóstico en el sector agropecuario. Trabajo presentado en el I congreso nacional del clima 2010 “El desarrollo económico de Colombia bajo un nuevo escenario climático”. Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales (IDEAM), Bogotá, julio 13 al 15 de 2010.

Boada, P. (2011). Clasificación climática de la cuenca alta del Río Bogotá. Universidad de La Salle, Programa de Ingeniería Ambiental y Sanitaria, Bogotá D.C.

Carbone, M. E. & E. Perillo, G. M. (2003). Caracterización Climática de la cuenca del Arroyo Claromecó, Argentina. P. 42.

Carvajal, Y. (2012). Inundaciones en Colombia. ¿Estamos preparados para enfrentar la variabilidad y el cambio climático? Revista Memorias, 9(16), 105-119.

Castaño, C. (2003). Planificación y ordenamiento territorial: Algunos Modelos e Instrumentos para la gestión Integral de las cuencas. Conferencia en el III Congreso Latinoamericano de manejo de cuencas hidrográficas. 9 al 13 de Junio. Arequipa, Perú.

Carrizosa, J. (2012). Análisis de principales dinámicas regionales a la variabilidad y cambio climático en la región capital. Bogotá, Colombia: PRICC 60 pp.

Castro, M. & Carvajal, Y. (2010). Análisis de tendencia y homogeneidad de series climatológicas.

- Chow, V. T. (1994). Handbook of Applied Hydrology, New York: McGraw-Hill.
- CINFA (2003). Seminario taller sobre cuencas hidrográficas. Escuela Politécnica del Litoral. ESPOL. Centro Integrado de Geomática Ambiental. Guayaquil, Ecuador.
- Cohen, Y; Cohen, A; Timar, D; Gazit, Y; 2006. Developing spatial decision support system for medfly control in Israel. American Society of Agricultural and Biological Engineers, St. Joseph, MI, ASABE paper number: 061152.
- Corporación Autónoma Regional del Alto Magdalena (CAM). (2010). DIAGNOSTICO AMBIENTAL DEL DEPARTAMENTO DEL HUILA. Neiva, Huila.
- Corporación Autónoma Regional del Alto Magdalena (CAM). (2011). Plan de manejo y ordenamiento de la cuenca hidrográfica POMCH del Río Timaná. Fase de formulación.
- Corporación Autónoma Regional del Alto Magdalena (CAM). (2011). Plan de Gestión Ambiental Regional del departamento del Huila 2011 - 2023. Huila, Neiva.
- Corporación Autónoma Regional del Alto Magdalena (CAM). (2013). Formulación del plan de ordenamiento y manejo ambiental de la cuenca hidrográfica de los ríos Aipe y Baché del municipio de Aipe-Huila. Empresas Públicas de Aipe “EPA S.A. E.S.P.”
- Corzo, F. & Pinilla, J. (2015). Comparación de curvas de intensidad- Duración – Frecuencia (IDF) Reales y Sintéticas, caso de estudio municipio de Anopaima (Cundinamarca). Universidad Católica De Colombia.
- Cuarteras, L; Poveda, G. 2002. Balance atmosférico de humedad y Estimación de la precipitación reciclada en Colombia según el reanálisis NCEP/NCAR. Meteorología colombiana, 5: 49-57.
- Departamento Administrativo Nacional de Estadística DANE. (2011). Boletín pobreza monetaria y multidimensional en Colombia. Recuperado de: [http://www.dane.gov.co/files/investigaciones/%20condiciones\\_vida/pobreza/boletin\\_pobreza\\_2011.pdf](http://www.dane.gov.co/files/investigaciones/%20condiciones_vida/pobreza/boletin_pobreza_2011.pdf).
- Domínguez C., E.A., 2010. Cálculo de parámetros morfométricos. , p.6.
- Edenhofer Ottmar (2014). Comunicado de prensa del IPCC: Las emisiones de Gases de Efecto Invernadero se aceleran a pesar de las medidas para reducirlos. Oficina de prensa del IPCC. Suiza. Disponible en: [http://www.ipcc.ch/pdf/ar5/pr\\_wg3/20140413\\_pr\\_pc\\_wg3\\_es.pdf](http://www.ipcc.ch/pdf/ar5/pr_wg3/20140413_pr_pc_wg3_es.pdf)
- Esquema de ordenamiento territorial; Boavita- Boyacá. 2010. Conflictos de uso de la tierra.
- Fallon, P., Betts. Climate Impacts on European Agriculture and Water Management in the context of adaption and migation – the omportance of an integrated approach, Sci Total Environ (2009). Citado por: Torrente, A., Chavarro, J., Trujillo, G., Figueroa, O. Desarrollo de un Paquete tecnológico para la producción de pasturas mediante unidades de manejo agronómico en el fortalecimiento del sector ganadero del departamento del Huila. Fase I. Neiva, 2010. p.4.
- FEDESARROLO, Delgado, M., Samir, C. & Ramírez, J. (2015). La Economía del departamento del Huila: Diagnostico y perspectivas de mediano plazo.
- Fernández, M. E. (2013). Efectos del cambio climático en la producción y rendimiento de cultivos por sectores. Bogotá D.C., Colombia: FOPAE-IDEAM.

- Fierro, A. & Araujo, M. (2006). Evaluación de Impacto Ambiental de los Proyectos de Conservación de Recursos Hídricos en fincas, liderados por Hocol en el norte del Huila (Protección de Nacederos, Construcción de reservorios de Agua y Bosques de Guadua). Neiva. Trabajo de grado (Ingenieros Agrícolas). Universidad Surcolombiana. Facultad de Ingeniería.
- García, A. (2006). Colombia País Maravilloso – Manual: El Medio Ambiente en Colombia – Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales (IDEAM). Recuperado de: <http://www.todacolombia.com/geografia-colombia/clima-colombiano.html>
- García, E. (2004). Modificaciones al Sistema de clasificación climática de Koppen. Instituto de geografía Universidad Nacional Autónoma De México. 5ta edición.
- Garcia, M., C. D. Peters-Lidard, and D. C. Goodrich (2008). Spatial interpolation of precipitation in a dense gauge network for monsoon storm events in the southwestern United States, Water Resour. Res., 44, W05S13, doi: 10.1029/2006WR005788.
- Giraldo, G., & Wbeimar, G. (2011). Impacto de la Variabilidad Climática en la Producción de Banano en el Urabá Antioqueño (Doctoral dissertation, Universidad Nacional de Colombia, Sede Medellín).
- Girón, B.; Domínguez, E. & Ruiz, O. (2016). Análisis de la relación entre variables morfométricas y biofísicas en la estimación de características probabilísticas para la oferta hídrica superficial de Colombia.
- Guilarte, R. (1978). Hidrología básica. Facultad de ingeniería, UCV. Caracas Venezuela. 667 p.
- Gobernación del Huila. (2007). Agenda interna para la productividad y competitividad del departamento del Huila. Neiva: Editora Surcolombiana S.A. pp 400.
- Gobernación del Huila & Corporación Autónoma Regional del Alto Magdalena (CAM), (2014). Plan de cambio climático - Huila 2050 preparándose para el cambio climático.
- Gómez, C. E. & García, G. (2006). Zonificación ambiental en el ordenamiento de cuencas hidrográficas en Colombia. Caja de herramientas para la zonificación ambiental en cuencas hidrográficas. Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales – IDEAM. Bogotá, Marzo del 2009.
- González, E. (2005). Erosión: la importancia de la conservación del suelo, Córdoba (España). Córdoba: Asociación Española Agricultura de Conservación Suelos Vivos.
- González, F. (2015). El ciclo de las manchas Solares y la precipitación en la región del eje cafetero – Colombia. UNAL.
- Guzmán, V. & León, A. (2012). Impacto de la calidad de datos sobre el cierre del balance hídrico en cuencas de Páramo y Bosques (Mazar y Soldados).
- Hernández C. (2012). Análisis del comportamiento de la temperatura y la precipitación mediante Climogramas y Tendencias en la zona central de Veracruz. Universidad de Veracruz, Facultad de instrumentación electrónica y ciencias Atmosféricas.
- Hernández, E., (sf). La cuenca hidrográfica. FCFA. Universidad de los Andes. Mérida – Venezuela.

Huang Y, Lan Y, Thomson S, Fang A, Hoffmann, W & Lacey R. Development of soft computing and applications in agricultural and biological engineering. (2010) Computers and electronics in agriculture. Vol 71 (2010), pp 107-127.

Hurtado, G. (2010). El clima: Origen y aplicaciones. Trabajo presentado en el I Congreso Nacional del Clima 2010 “El desarrollo económico de Colombia bajo un nuevo escenario climático”. Instituto de Hidrología, meteorología y Estudios Ambientales (IDEAM), Bogotá, julio 13 al 15 de 2010.

IDEAM. (2010) Estudio Nacional del Agua. Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales. Bogotá D.C. 409 p.

IDEAM, PNUD, MADS, DNP, CANCELLERÍA. (2015). Escenarios de cambio climático para precipitación y temperatura para Colombia 2011-2100. Herramientas científicas para la toma de decisiones. Bogotá DC, Colombia: ISBN 978-958-8902-56-2.

Instituto Geográfico Agustín Codazzi, IGAC (1994). Estudio general de suelos del Departamento del Huila, Tomo I.

Instituto Geográfico Agustín Codazzi, IGAC y Corpoica (2002). Zonificación de los conflictos de uso de las tierras en Colombia. Bogotá, D.C.

Instituto Geográfico Agustín Codazzi, IGAC (2010). Actualización de estudio general de suelos del departamento del Huila.

Instituto Geográfico Agustín Codazzi, IGAC (2014). “Anti Ranking” de los departamentos con los mayores conflictos de los suelos en Colombia.

INSTITUTO DE HIDROLOGÍA, METEOROLOGÍA Y ESTUDIOS AMBIENTALES (2011). Clasificaciones Climáticas Colombia. Preparado por Grupo de Climatología y Agrometeorología – Subdirección de Meteorología – IDEAM.

INSTITUTO DE HIDROLOGÍA, METEOROLOGÍA Y ESTUDIOS AMBIENTALES (2007). Estudio de la caracterización climática Bogotá y cuenca alta del río Tunjuelo / IDEAM. Bogotá D.C.

INSTITUTO DE HIDROLOGÍA, METEOROLOGÍA Y ESTUDIOS AMBIENTALES (IDEAM), (2010). Declaratorio de efecto ambiental, carretera el Monal – Dina.

Israelí Government Minister. Recuperado de: <http://www.israel.org/gov/minister.html>

Izquierdo, J., Chavarro, J. & Trujillo, G. (2007). Agricultura y Cambio Climático en el Huila. Grupo de Investigación de Hidroingeniería y Desarrollo Agropecuario – GHIDA. Universidad Surcolombiana. Neiva-Huila .p. 48.

Jiménez, C. Q.(2012). ÍNDICADORES CLIMATICOS. Una Manera de identificar la variabilidad climática a escala global. Informe técnico con información hidroclimática de los mares de México.

Jiménez, N. S., Castro, L., Yépez, J., & Wittmer, C. (2012). Impacto del cambio climático en la agricultura de subsistencia en el Ecuador. Fundación Carolina CeALCI. Series avances de investigación N° 66.

Llamas, J., (1993). Hidrología general. Universidad del Estado de México. Toluca. México 627 pp.

- Marvin, H., Kleter, G., Van Der Fels, H., Klerx, M., Noordama, F., Willems, J., & Boxall, A. (2013). Proactiva systems for early warning of potential impacts of natural disasters on food safety: Climate change induced extreme events as case in point. *Food Control*, 444-456.
- McMahan B. & Crimmins M. (2015). El Niño is here... what exactly does that mean for Arizona and New Mexico? - Climate Assessment for the Southwest.
- Medina, R. (2008). Estimación estadística de valores faltantes en series históricas de lluvia.
- Monsalve, G. (1999). Hidrología en la ingeniería. Centro Editorial. Escuela Colombiana de Ingeniería. Bogotá – Colombia. 382pp.
- Montealegre, J. (2007). Modelo Institucional del IDEAM sobre el efecto climático de los fenómenos El Niño y La Niña en Colombia. IDEAM, subdirección de Meteorología.
- Montealegre, J. (2009). Estudio de la variabilidad climática de la precipitación en Colombia asociada a procesos oceánicos y atmosféricos de meso y gran escala. Pág. 30.
- Morales, D. L. (2015). El ordenamiento de cuencas hidrográficas y el ordenamiento ambiental del territorio, en la cuenca del Río Risaralda; Universidad Autónoma de Manizales - Maestría en desarrollo regional y planeación del territorio. p. 5.
- Moros, A. (2010). Caracterización de señales de precipitación mediante la transformada de Fourier y transformada de Wavelet.
- NASA (2016). Modelo de elevación digital, servidor ALOS PASAR, resolución 12.5 metros; editado por García O. & Castillo H.
- OMM - Organización Meteorológica Mundial. (2010). Fenómenos asociados en el tiempo, el clima y el agua para el desarrollo.
- Poveda, G. (2004). La hidroclimatología de Colombia: Una síntesis desde la escala inter-decadal hasta la escala diurna. Volumen XXVIII.
- Programa Mundial de Alimentos. (2014). Seguridad Alimentaria, Desastres y Cambio Climático en la Region Andina. pp 35.
- Quintero, M., Carvajal, Y., Aldunce, P. (2012). “Variabilidad y el cambio climático: intersecciones con la gestión del riesgo”. *Revista Luna Azul*, 34, pp. 257-271.
- Rawson, H. Trigo Regado (2001). Depósito de documentos de la FAO.
- Renzonni (2009). La incorporación de la Gestión del Riesgo en la Planificación, Inversión Pública, la Protección Financiera de Activos Frente a Desastres y en el Sector Agropecuario. Proyecto PREDECAN. pp 73.
- Reyes T., A., Barroso, F. & Carvajal E., Y. (2010). Guía básica para la caracterización morfométrica de cuencas hidrográficas Primera Ed., Cali, Colombia: Editorial Universidad del Valle.
- Rudas, G. (2005). Comentarios sobre concesiones y permisos, tasas ambientales e instrumentos financieros en la legislación del agua. Foro Nacional Ambiental. Policy paper 6. Bogotá, Colombia.

Ruiz, A.(2012). Análisis del impacto de los fenómenos El Niño Y La Niña en la producción agrícola del departamento del Atlántico. Universidad Nacional de Colombia. Bogota D.C; Colombia.

Sedano, K., Carvajal, Y. & Ávila, A. (2012). “¿Cómo nos afecta el cambio climático en Colombia? Variabilidad climática, cambio climático y gestión integrada del riesgo de inundaciones en Colombia”. Revista Semillas. 46/47, pp. 47-53.

Sedano, K. (2012). Gestión integra del riesgo de inundaciones en Colombia. Tesis de Maestría. Departamento de ingeniería Hidráulica y Medio Ambiente, Universidad Politécnica de Valencia, España.

S. Rivas & Sáenz (2009). Sistema de Clasificación Bioclimática Mundial, Centro de Investigaciones Fitosociológicas – Otros Índices Bioclimáticos. Recuperado de: <https://pendientedemigracion.ucm.es/info/cif/form/indices.htm>.

Strahler, A. (1952). “Hypsometric (area-altitud) analysis of erosional topography”. Bulletin of Geological Society of America, 63.

Strahler, A.N. (1952). Hypsometric (area-altitude) analisis of erosional topography. Bulletin of Geological Society of America, 63, pp.1117–1142.

Strahler, A. (1974). Geografía física. Ediciones Omega, S.A. Barcelona, España.765 pp.

Torres, C. (2013). Laboratorio de Climatología, área tecnológica – Facultad de Agronomía – Universidad De San Carlos de Guatemala.

Trenberth K; E. (1997). The definition of the Niño. Bulletin of the American meteorological Society 78-2771-2777.

Unidad de Planificación Rural Agropecuaria UPRA (2015). Plan de acción año 2015.

United States Department of Agriculture. (1985). Guide for interpreting Engineering Uses of Soils.

UPRA (2014). Plan de Ordenamiento Social y Productivo de la Propiedad Rural. Universidad Michoacana San Nicolás de Hidalgo. (Mayo de 2009). Universidad Michoacana San Nicolás de Hidalgo. Recuperado el 16 de Mayo de 2015, de Manual de Prácticas Hidrología Superficial

Vélez, J. I; Poveda, G; Mesa, J; Hoyos, L; Salazar, F. & Mejía, F. (2002). Modelo de interacción suelo-atmosfera para la estimación de caudales medios mensuales en Colombia, meteorología colombiana, 6: 81-89.

Velez, J.J. & Botero, A. (2010). Estimización del Tiempo De Concentración y Tiempo De Rezago En La Cuenca Experimental Urbana De La Quebrada San Luis , Manizales. *Dyna*, 165, pp.58–71.

Wanielista, M. P. (1997). Hydrology and Water Quality Control Segunda Ed. Wiley, ed.

Westerberg, I., Walther, A., Guerrero, J.L., Coello, Z., Halldin, S., Xu, C.D., Chen, C., Lundin, L.C. (2009). Precipitation data in a mountainous catchment in Honduras: quality assessment and spatiotemporal characteristics. *Theoretical and applied journal* 101, 381-396.

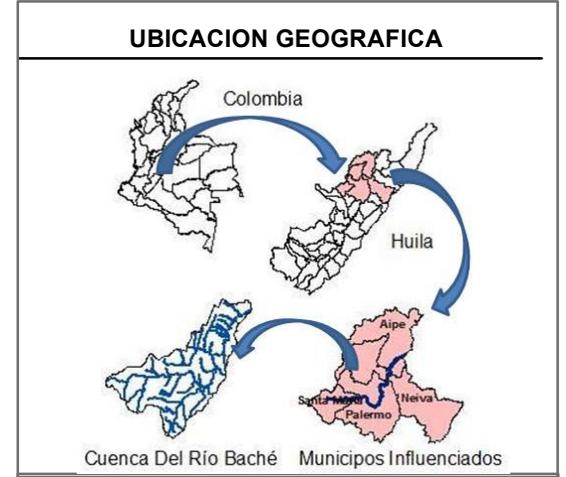
Yang, C. C.; Prasher, S. O.; Whalen, J.; Goel, P. K.; (2001). Application of data mining technology for hyperspectral imagery classification in agricultural fields. American society of agricultural Engineers, St. Joseph, MI, ASAE paper number: 013116.

## 10. ANEXOS

- A. Delimitación geográfica del proyecto
- B. Mapa de orden de la red hídrica.
- C. Mapa Red Hidrometeorológica de la cuenca hidrográfica del Río Baché
- D. Mapa de uso y cobertura de suelo
- E. Mapa de Isoyetas
- F. Mapa de isotermas
- G. Mapa de pendientes
- H. Mapa de distancia euclidiana en función del coste.
- I. Mapa Distribución Espacial del análisis exploratorio(Box-plot) en la cuenca hidrográfica del Río Baché-Huila
- J. Mapa Distribución Espacial de Curvas de masa para todas las estaciones de la cuenca hidrográfica del Río Baché-Huila.
- K. Mapa Distribución Espacial de correlación cruzada para todas las estaciones de la cuenca hidrográfica del Río Baché-Huila.
- L. Mapa distribución espacial de Periodogramas para todas las estaciones de la cuenca hidrográfica del Río Baché-Huila.
- M. Mapa Distribución Espacial de Climogramas para todas las estaciones de la cuenca hidrográfica del Río Baché-Huila.
- N. Mapa Distribución Espacial del análisis espectral Wavelet para todas las estaciones de la cuenca hidrográfica del Río Baché-Huila.
- O. Mapa Distribución Espacial del análisis de la serie de índices ONI vs IP para todas las estaciones de la cuenca hidrográfica del Río Baché-Huila.
- P. Mapa de conflictos de uso del suelo.
- Q. Mapa Caracterización climática de Caldas Lang
- R. Mapa Caracterización climática de Thornthwaite
- S. Mapa Caracterización climática de Martonne
- T. Mapa Caracterización climática de Koppen
- U. Mapa delimitación geográfica de las zonas aptas para la producción agrícola
- V. Caracterización climática de Caldas Lang y distribución espacial para el cultivo de arroz
- W. Caracterización climática de Caldas Lang y distribución espacial para el cultivo de café
- X. Caracterización climática de Caldas Lang y distribución espacial para el cultivo de Cholupa
- Y. Caracterización climática de Caldas Lang y distribución espacial para el cultivo de Maíz
- Z. Caracterización climática de Caldas Lang y distribución espacial para el cultivo de Frijol
- AA. Caracterización climática de Caldas Lang y distribución espacial para el cultivo de Cacao.
- BB. Tablas de orden con información de requerimientos agrologicos de cultivos.
- CC. Código generado en MATLAB a partir de la estructura del árbol de decisión propuesto.
- DD. Ubicación geográfica de las encuestas realizadas (Evidencias de trabajo de campo).

Caracterización climática de la cuenca hidrográfica del Río Baché en el contexto del ordenamiento productivo sostenible.

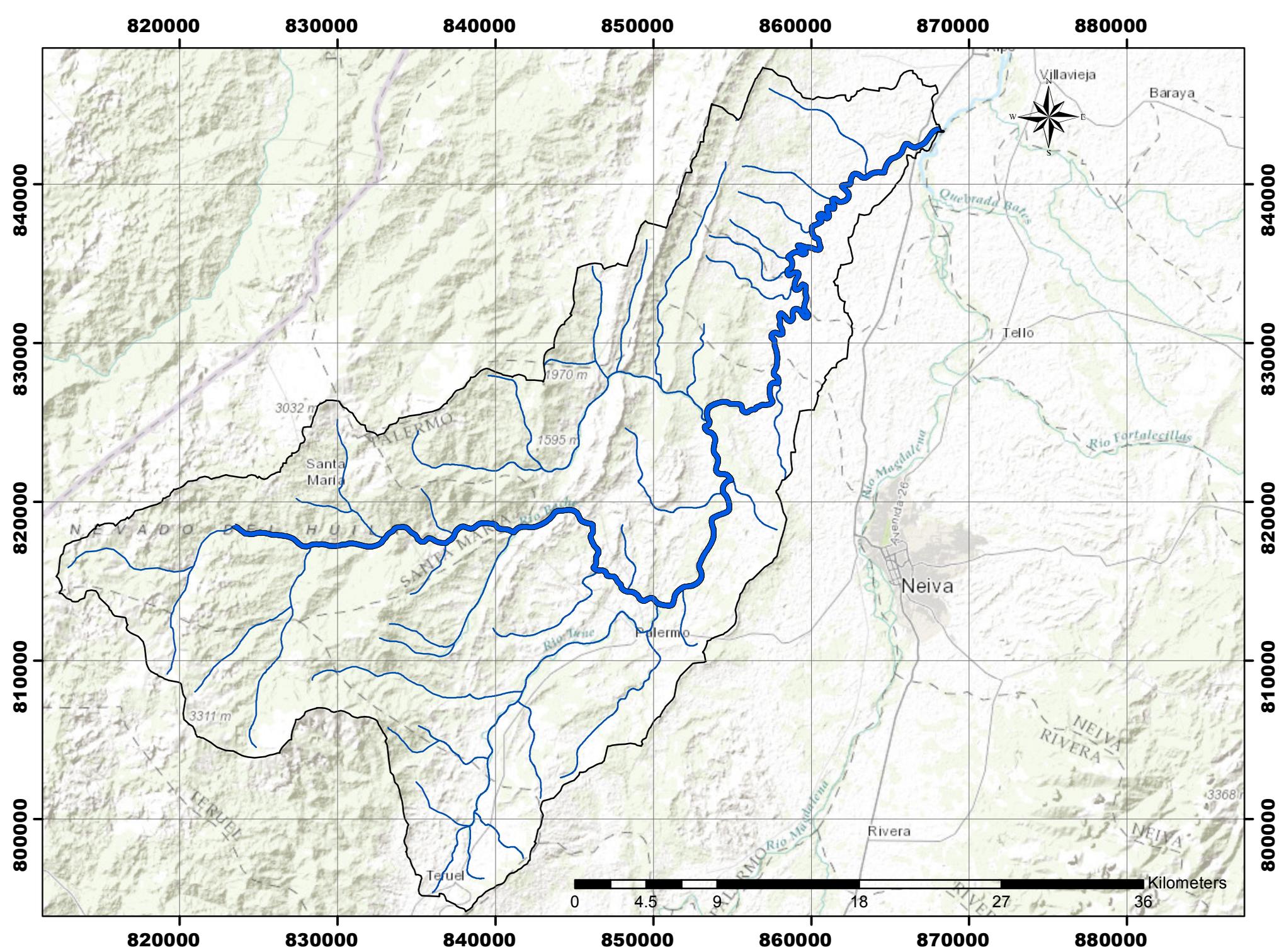
Delimitación geográfica de la cuenca hidrográfica del Río Baché-Huila

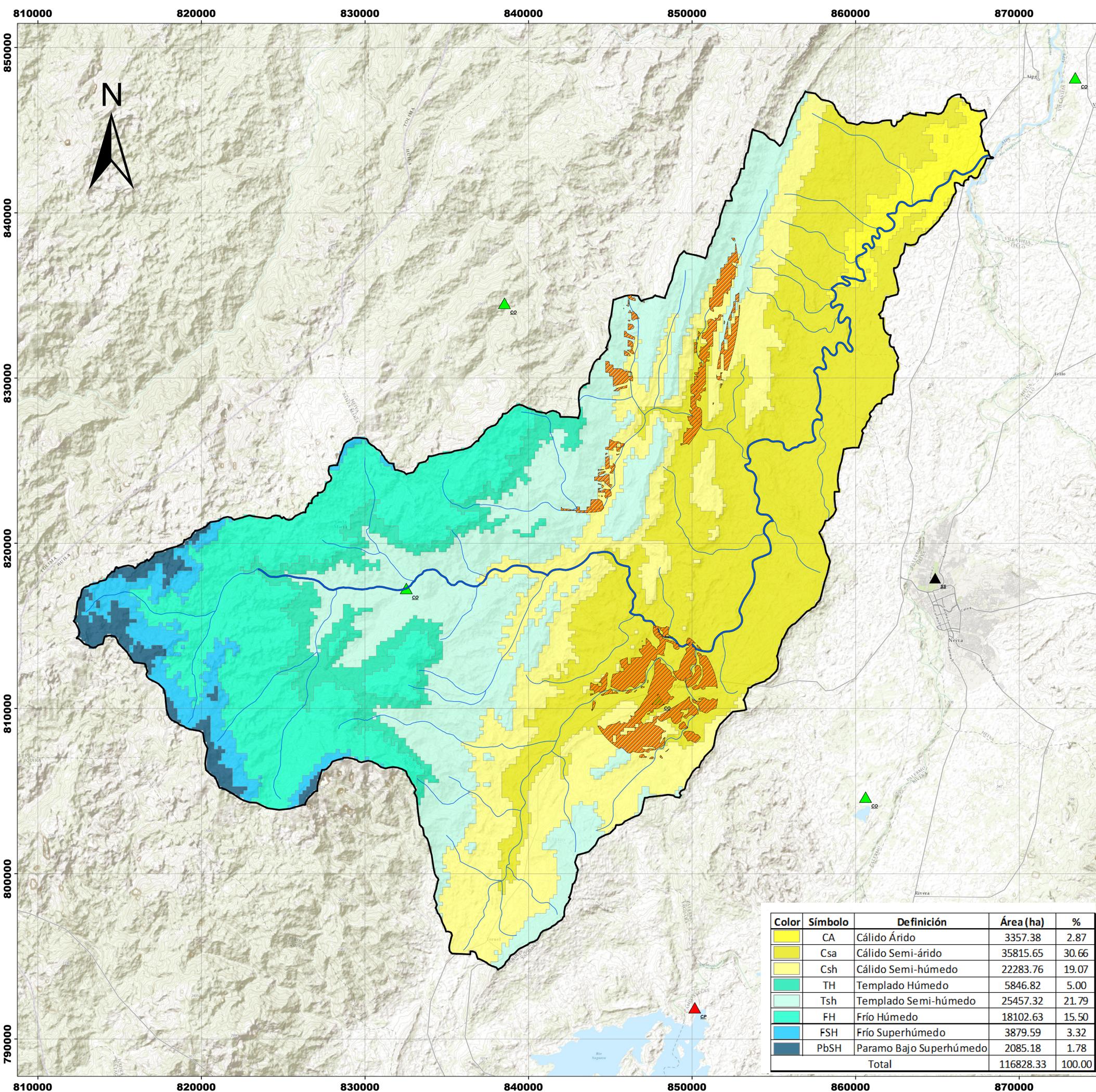


Projected Coordinate System:  MAGNA\_Colombia\_Bogota  
Projection:  Transverse\_Mercator  
False\_Easting:  1000000.00000000  
False\_Northing:  1000000.00000000  
Central\_Meridian:  -74.07750792  
Scale\_Factor:  1.00000000  
Latitude\_Of\_Origin:  4.59620042  
Linear Unit:  Meter



Autores:  
Pablo Andres Garcia O  
Hernan Javier Castillo C

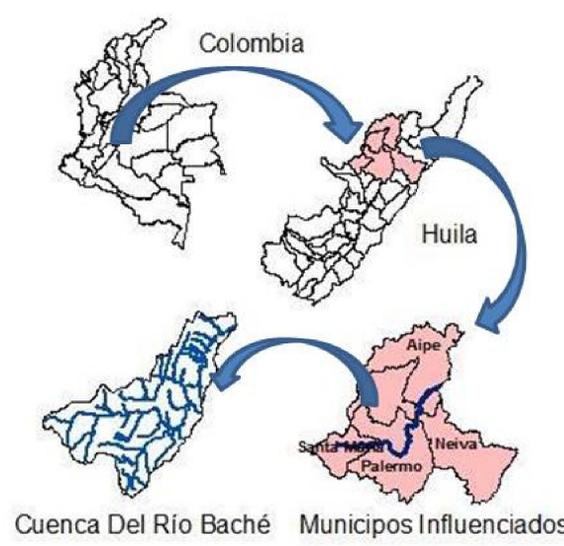




Caracterización climática en el contexto del ordenamiento productivo agrícola de la cuenca hidrográfica del Río Baché ubicada al norte del departamento del Huila.

Caracterización climática Caldas-Lang & ubicación Geográfica del cultivo de Cacao de la cuenca hidrográfica del Río Baché-Huila

### UBICACION GEOGRAFICA



### LEYENDA

- Cacao
- Cuenca Río Baché
- Río\_Baché
- Hidrografia
- Estaciones\_hidrologicas**
- Cat**
- CO
- CP
- SS

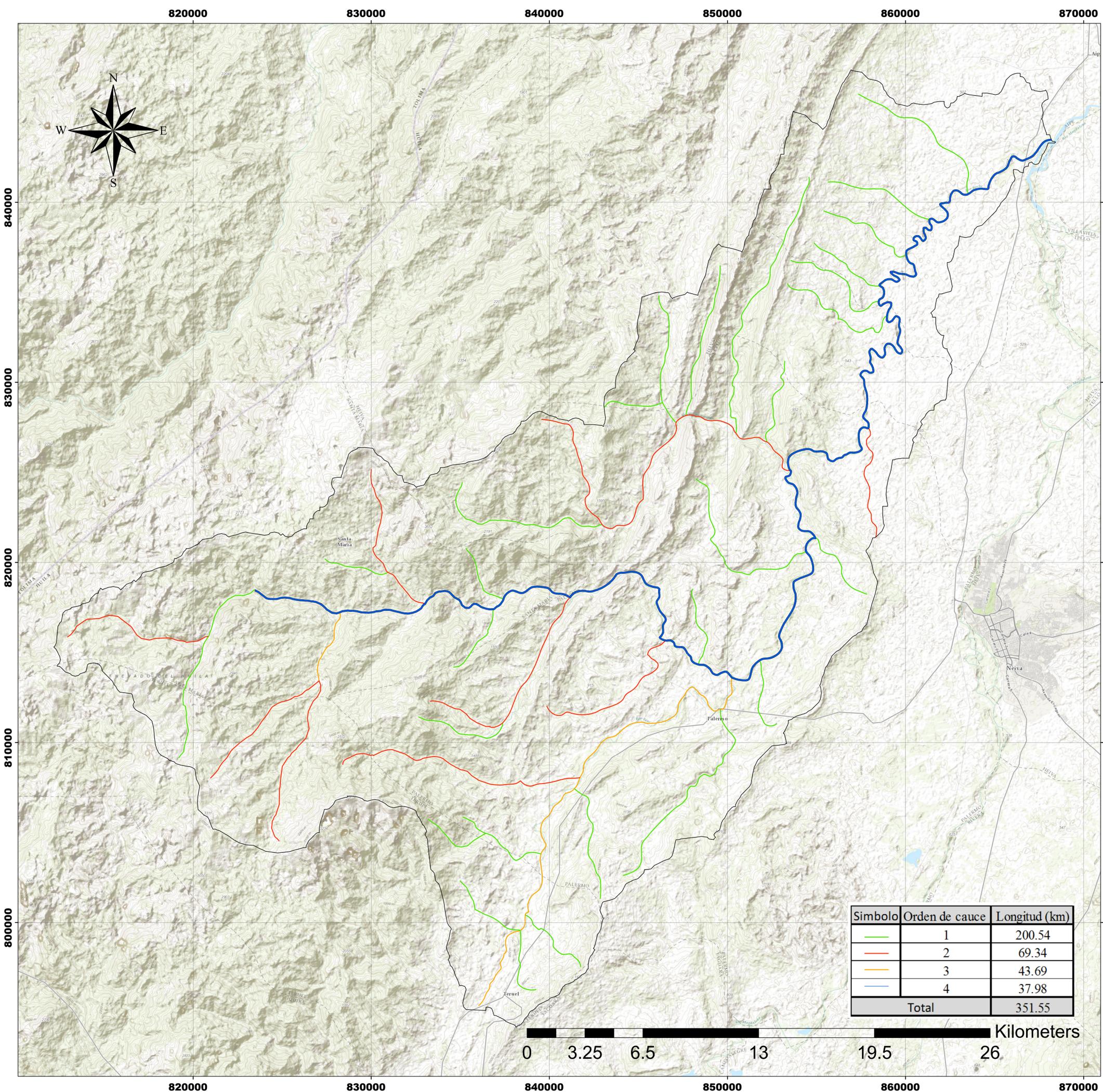


Projected Coordinate System:  MAGNA\_Colombia\_Bogota  
 Projection:  Transverse\_Mercator  
 False\_Easting:  1000000.00000000  
 False\_Northing:  1000000.00000000  
 Central\_Meridian:  -74.07750792  
 Scale\_Factor:  1.00000000  
 Latitude\_Of\_Origin:  4.59620042  
 Linear Unit:  Meter



**Autores:**  
 Pablo Andres Garcia O  
 Hernan Javier Castillo C

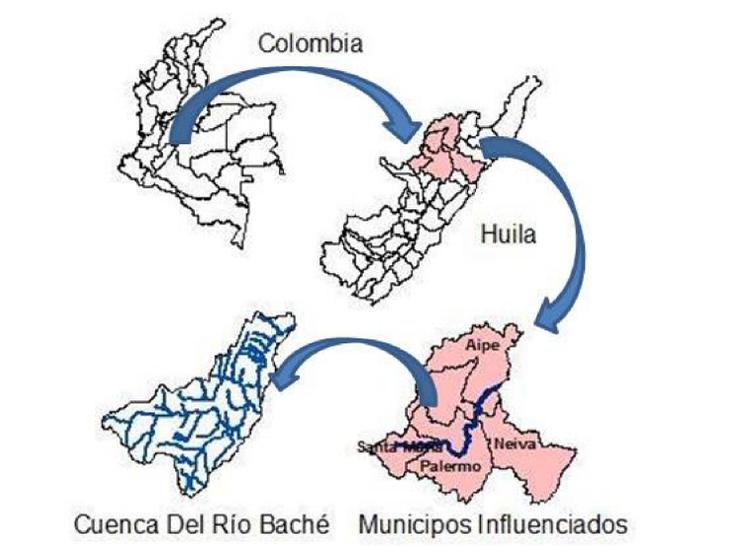
Color	Símbolo	Definición	Área (ha)	%
	CA	Cálido Árido	3357.38	2.87
	Csa	Cálido Semi-árido	35815.65	30.66
	Csh	Cálido Semi-húmedo	22283.76	19.07
	TH	Templado Húmedo	5846.82	5.00
	Tsh	Templado Semi-húmedo	25457.32	21.79
	FH	Frío Húmedo	18102.63	15.50
	FSH	Frío Superhúmedo	3879.59	3.32
	PbSH	Paramo Bajo Superhúmedo	2085.18	1.78
Total			116828.33	100.00



Caracterización climática en el contexto del ordenamiento productivo agrícola de la cuenca hidrográfica del Río Baché ubicada al norte del departamento del Huila.

Orden de la red hídrica de la cuenca hidrográfica del Río Baché-Huila

**UBICACION GEOGRAFICA**



**LEYENDA**

-  Cuenca Río Baché
-  Río\_Baché

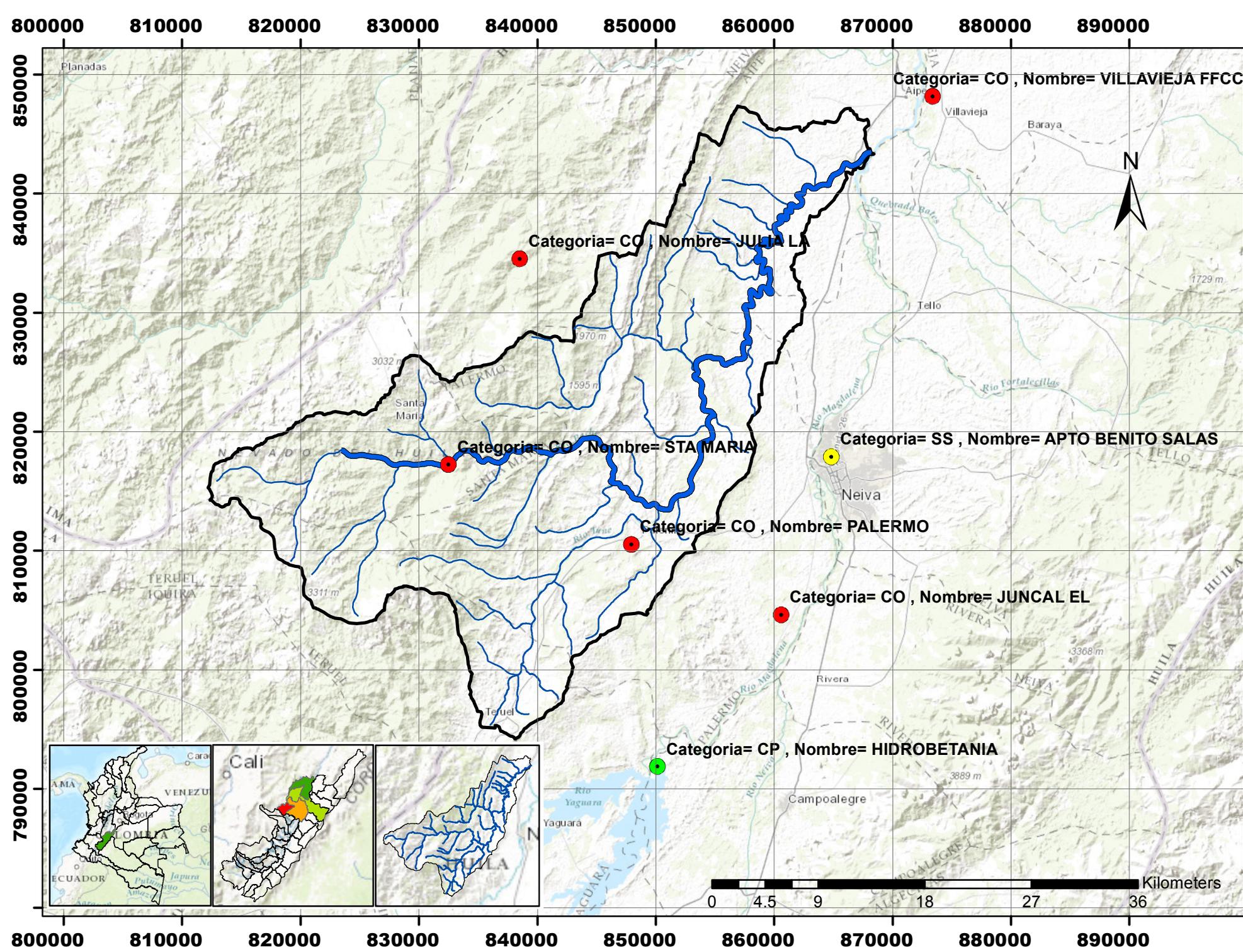
Simbolo	Orden de cauce	Longitud (km)
	1	200.54
	2	69.34
	3	43.69
	4	37.98
Total		351.55



Projected Coordinate System:  MAGNA\_Colombia\_Bogota  
 Projection:  Transverse\_Mercator  
 False\_Easting:  1000000.00000000  
 False\_Northing:  1000000.00000000  
 Central\_Meridian:  -74.07750792  
 Scale\_Factor:  1.00000000  
 Latitude\_Of\_Origin:  4.59620042  
 Linear Unit:  Meter

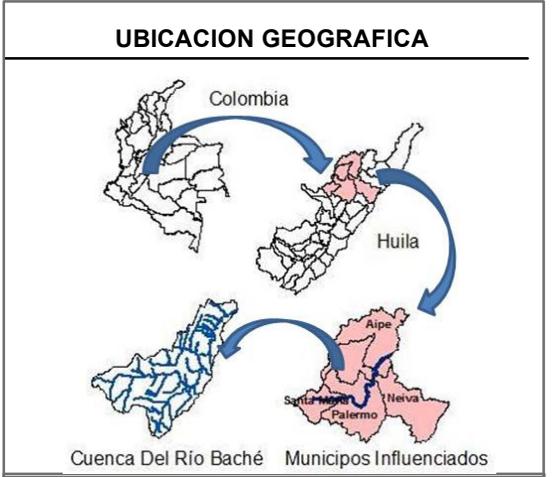


**Autores:**  
 Pablo Andres Garcia O  
 Hernan Javier Castillo C



Caracterización climática en el contexto de ordenamiento productivo agrícola de la cuenca hidrográfica del Río Baché ubicada al norte de departamento del Huila.

Red hidrometeorológica de la cuenca hidrográfica del Río Baché-Huila



 **Projected Coordinate System:**  MAGNA\_Colombia\_Bogota  
**Projection:**  Transverse\_Mercator  
**False\_Easting:**  1000000.00000000  
**False\_Northing:**  1000000.00000000  
**Central\_Meridian:**  -74.07750792  
**Scale\_Factor:**  1.00000000  
**Latitude\_Of\_Origin:**  4.59620042  
**Linear Unit:**  Meter

 **Autores:**  
**Pablo Andres Garcia O**  
**Hernan Javier Castillo C**

```

%% ORDENAMIENTO PRODUCTIVO
% Autor      =   Pablo Andres Garcia Ochoa
%             Hernán Javier Catillo Cerón
%             Jonathan Nogales Pimentel
%
% Director   =   Helmer Alexis Guzmán
% Director   =   Jaime Izquierdo Bautista
% Email      =   u201112104407@usco.edu.co
%             nogales02@hotmail.com
% Universidad Surcolombiana
% Ingeniería Agrícola
%% PRELIMINARES
clear all, close all, clc

%% ENTRADAS
NameRaster =
{'DEM', 'Isoyetas', 'Isotermas', 'textura', 'Pendiente', 'Coste'};

%% DATOS
load(['..',filesep,'DATOS',filesep,'Parametros',filesep,'Parametros.mat']
);
load(['..',filesep,'DATOS',filesep,'Parametros',filesep,'Indicador.mat'])
;

%% CARGAR DATOS
% % Preliminarmente se establece donde la zonas aptas para cultivar
% tmp =
imread(['..',filesep,'DATOS',filesep,'Raster',filesep,'cultivos.tif']);
% [fil, col] = size(tmp);
% Indicador = find(tmp > 0);
% clearvars tmp

for i = 1:length(Cultivos)
    %% ELEVACION
    DEMtmp =
imread(['..',filesep,'DATOS',filesep,'Raster',filesep,'DEM.tif']);
    [fil, col] = size(DEMtmp);
    Elev = DEMtmp(Indicador);
    clearvars tmp
    tmp = Indicador(Elev>=Parm(i,1));
    DEM = tmp(DEMtmp(tmp)<=Parm(i,2));
    clearvars tmp DEMtmp Elev

save(['..',filesep,'RESULTADOS',filesep,Cultivos{i},filesep,'DEM.mat'],'DEM')
    clearvars DEM

    %% PRECIPITACION
    Ptmp =
imread(['..',filesep,'DATOS',filesep,'Raster',filesep,'Isoyetas.tif']);
    [fil, col] = size(Ptmp);
    PP = Ptmp(Indicador);
    clearvars tmp
    tmp = Indicador(PP>=Parm(i,3));
    P = tmp(Ptmp(tmp)<=Parm(i,4));
    clearvars Ptmp PP tmp

```

```

save(['..',filesep,'RESULTADOS',filesep,Cultivos{i},filesep,'P.mat'],'P')
clearvars P

%% TEMPERATURA
Ttmp =
imread(['..',filesep,'DATOS',filesep,'Raster',filesep,'Isotermas.tif']);
[fil, col] = size(Ttmp);
TT = Ttmp(Indicador);
clearvars tmp
tmp = Indicador(TT>=Parm(i,5));
T = tmp(Ttmp(tmp)<=Parm(i,6));
clearvars Ttmp TT tmp

save(['..',filesep,'RESULTADOS',filesep,Cultivos{i},filesep,'T.mat'],'T')
clearvars T

%% PENDIENTE
Stmp =
imread(['..',filesep,'DATOS',filesep,'Raster',filesep,'Pendiente.tif']);
[fil, col] = size(Stmp);
SS = Stmp(Indicador);
clearvars tmp
tmp = Indicador(SS>=Parm(i,7));
S = tmp(Stmp(tmp)<=Parm(i,8));
clearvars Stmp SS tmp

save(['..',filesep,'RESULTADOS',filesep,Cultivos{i},filesep,'S.mat'],'S')
clearvars S

%% TEXTURA
Ttmp =
imread(['..',filesep,'DATOS',filesep,'Raster',filesep,'Textura.tif']);
[fil, col] = size(Ttmp);
TxTx = Ttmp(Indicador);
clearvars tmp
tmp = Indicador(TxTx>=Parm(i,9));
Tx = tmp(Ttmp(tmp)<=Parm(i,10));
clearvars Ttmp TxTx tmp

save(['..',filesep,'RESULTADOS',filesep,Cultivos{i},filesep,'Tx.mat'],'Tx')
clearvars Tx

end

```

## ORDENAMIENTO (Estructuración)

```

load(['..',filesep,'DATOS',filesep,'Parametros',filesep,'Parametros.mat']
);
LongitudeLimits = [-75.7671255415, -75.2607357186];
LatitudeLimits = [2.73382229807, 3.21511381992];
rasterSize = [5316, 5624];

```

```

for i = 1:length(Cultivos)
    %% ESTRUCTURACIÓN

load(['..',filesep,'RESULTADOS',filesep,Cultivos{i},filesep,'DEM.mat'])
A1 = zeros(5316,5624); A1(DEM) = 1;
clearvars DEM
load(['..',filesep,'RESULTADOS',filesep,Cultivos{i},filesep,'P.mat'])
A2 = zeros(5316,5624); A2(P) = 1;
A1 = A1 + A2;
clearvars P
load(['..',filesep,'RESULTADOS',filesep,Cultivos{i},filesep,'T.mat'])
A2 = zeros(5316,5624); A2(T) = 1;
A1 = A1 + A2;
clearvars T
load(['..',filesep,'RESULTADOS',filesep,Cultivos{i},filesep,'S.mat'])
A2 = zeros(5316,5624); A2(S) = 1;
A1 = A1 + A2;
clearvars S

load(['..',filesep,'RESULTADOS',filesep,Cultivos{i},filesep,'Tx.mat'])
A2 = zeros(5316,5624); A2(Tx) = 1;
A1 = A1 + A2;
clearvars A2 Tx

%% ORDENAMIENTO
OP = A1 == 5;
OrPr = zeros(5316,5624); OrPr(OP) = 1;
clearvars A1 A2 OP

%
save(['..',filesep,'RESULTADOS',filesep,Cultivos{i},filesep,'OrPr.mat'],'
OrPr')
R = georasterref('RasterSize', rasterSize, ...
'RasterInterpretation', 'cells', 'ColumnsStartFrom', 'north', ...
'LatitudeLimits', LatitudeLimits, 'LongitudeLimits',
LongitudeLimits);

geotiffwrite(['..',filesep,'RESULTADOS',filesep,'TOTAL',filesep,Cultivos{
i},'..tiff'],OrPr,R);
figure('color',[1 1 1]),imshow(OrPr), title(Cultivos{i}), pause(3),
close(gcf)
end

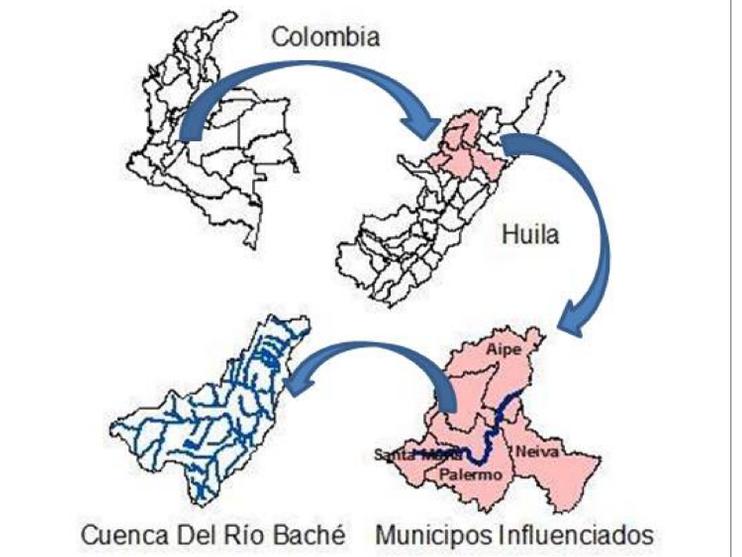
```

Color	NIVEL III	Area Has	%
	Arbustos y matorrales	2995.00862	2.56
	Bosque de galería y ripario	14587.66158	12.49
	Bosque Denso	13334.61938	11.41
	Bosque fragmentado	2498.50423	2.14
	Cuerpos de agua artificiales	83.65344	0.07
	Cultivos permanentes arbustivos	2371.71963	2.03
	Herbazal	4915.40926	4.21
	Lagunas, lagos y ciénagas naturales	3.81383	0.00
	Mosaico de cultivos y espacios naturales	168.65965	0.14
	Mosaico de cultivos, pastos y espacios naturales	18914.70511	16.19
	Mosaico de pastos con espacios naturales	3591.13002	3.07
	Nubes	1591.16438	1.36
	Oleaginosas y leguminosas	4513.80773	3.86
	Pastos arbolados	8780.12682	7.52
	Pastos enmalezados	3494.01785	2.99
	Pastos limpios	29545.75399	25.29
	Ríos (50m)	300.02491	0.26
	Tejido urbano continuo	23.06882	0.02
	Tejido urbano discontinuo	114.74388	0.10
	Tierras desnudas y degradadas	4642.15015	3.97
	Zonas de extracción minera	5.76082	0.00
	Zonas que madan	354.49589	0.30
	<b>Total</b>	<b>116830</b>	<b>100.00</b>

Caracterización climática en el contexto del ordenamiento productivo agrícola de la cuenca hidrográfica del Río Baché ubicada al norte del departamento del Huila.

Mapa de Uso y cobertura del suelo de la cuenca hidrográfica del Río Baché-Huila

### UBICACION GEOGRAFICA

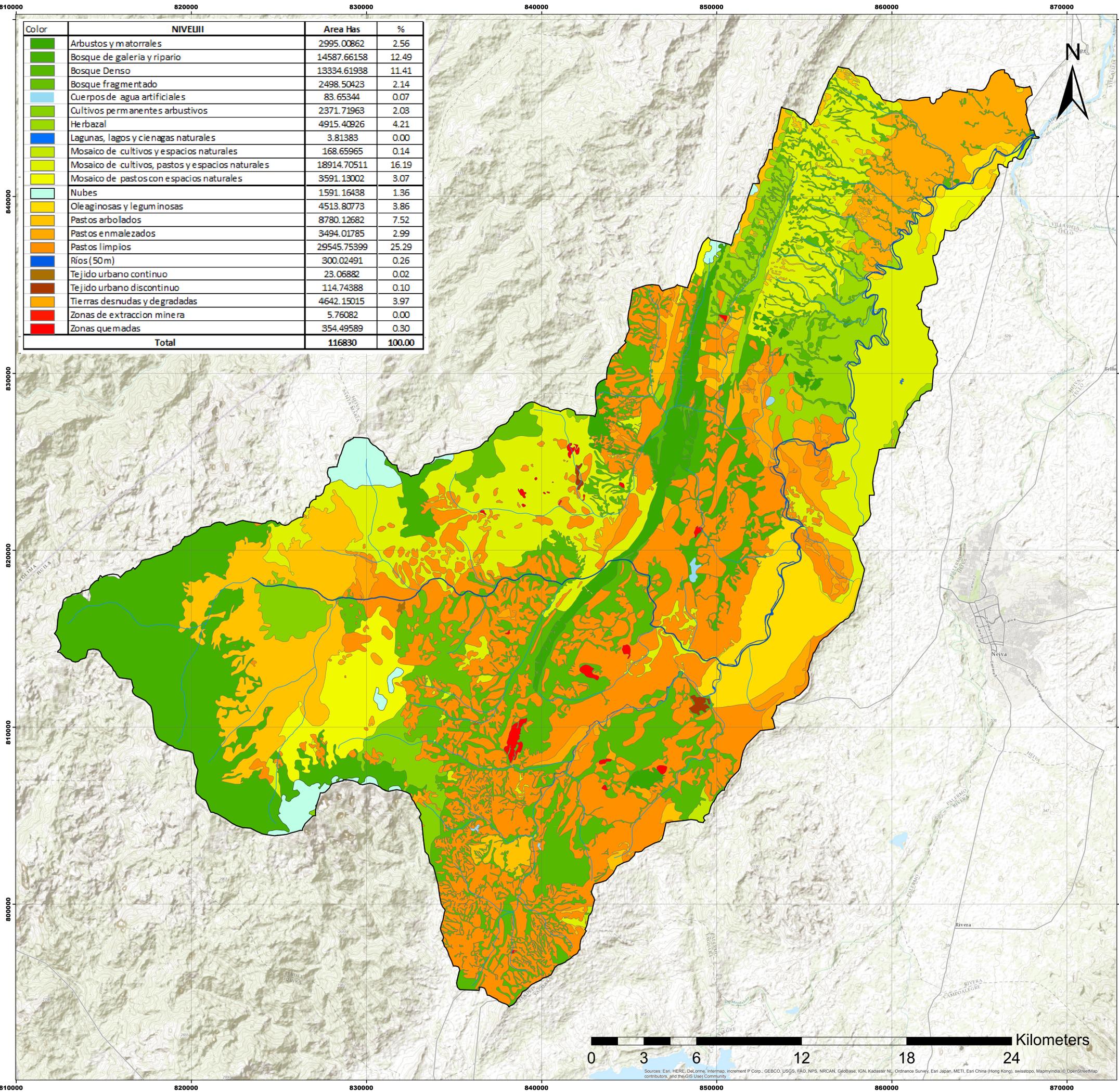


### LEYENDA

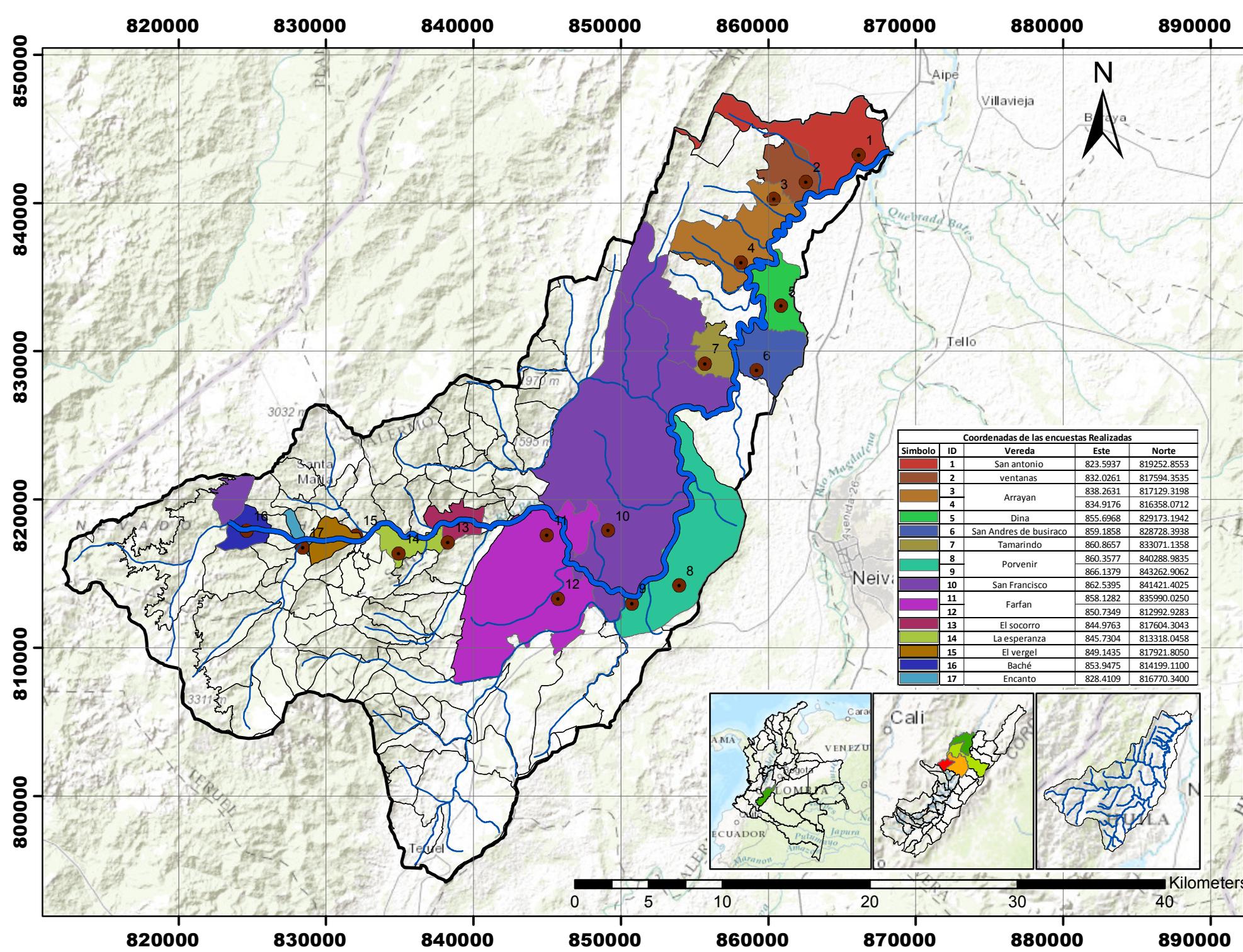
- Río Baché
- 1y2orden
- Cuenca Río Baché

**Projected Coordinate System:**  MAGNA\_Colombia\_Bogota  
**Projection:**  Transverse\_Mercator  
**False\_Easting:**  1000000.0000000  
**False\_Northing:**  1000000.0000000  
**Central\_Meridian:**  -74.07750792  
**Scale\_Factor:**  1.00000000  
**Latitude\_Of\_Origin:**  4.59620042  
**Linear Unit:**  Meter

**Autores:**  
**Pablo Andres Garcia O**  
**Hernan Javier Castillo C**

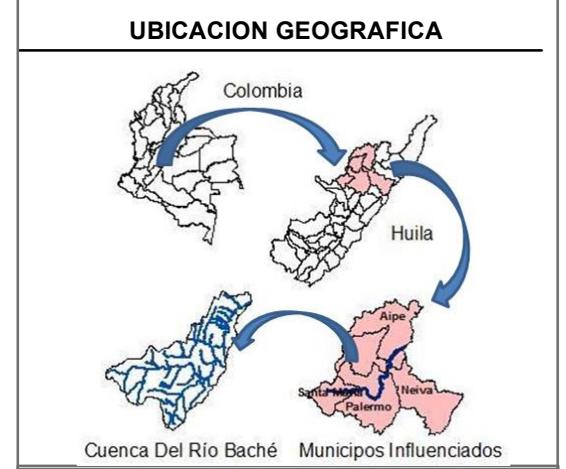


Sources: Esri, HERE, DeLorme, Intermap, increment P Corp., GEBCO, USGS, FAO, NPS, NRCAN, Geobase, IGN, Kadaster NL, Ordnance Survey, Esri Japan, METI, Esri China (Hong Kong), swisstopo, MapmyIndia, © OpenStreetMap contributors, and the GIS User Community



Caracterización climática en el contexto de ordenamiento productivo agrícola de la cuenca hidrográfica del Río Baché ubicada al norte de departamento de del Huila.

Ubicación geografica de las encuestas realizadas en la cuenca hidrográfica del Río Baché-Huila



Coordenadas de las encuestas Realizadas				
Simbolo	ID	Vereda	Este	Norte
1	1	San antonio	823.5937	819252.8553
2	2	ventanas	832.0261	817594.3535
3	3	Arrayan	838.2631	817129.3198
4	4	Arrayan	834.9176	816358.0712
5	5	Dina	855.6968	829173.1942
6	6	San Andres de busiraco	859.1858	828728.3938
7	7	Tamarindo	860.8657	833071.1358
8	8	Porvenir	860.3577	840288.9835
9	9	San Francisco	866.1379	843262.9062
10	10	San Francisco	862.5395	841421.4025
11	11	Farfan	858.1282	835990.0250
12	12	San Francisco	850.7349	812992.9283
13	13	El socorro	844.9763	817604.3043
14	14	La esperanza	845.7304	813318.0458
15	15	El vergel	849.1435	817921.8050
16	16	Baché	853.9475	814199.1100
17	17	Encanto	828.4109	816770.3400

### LEYENDA

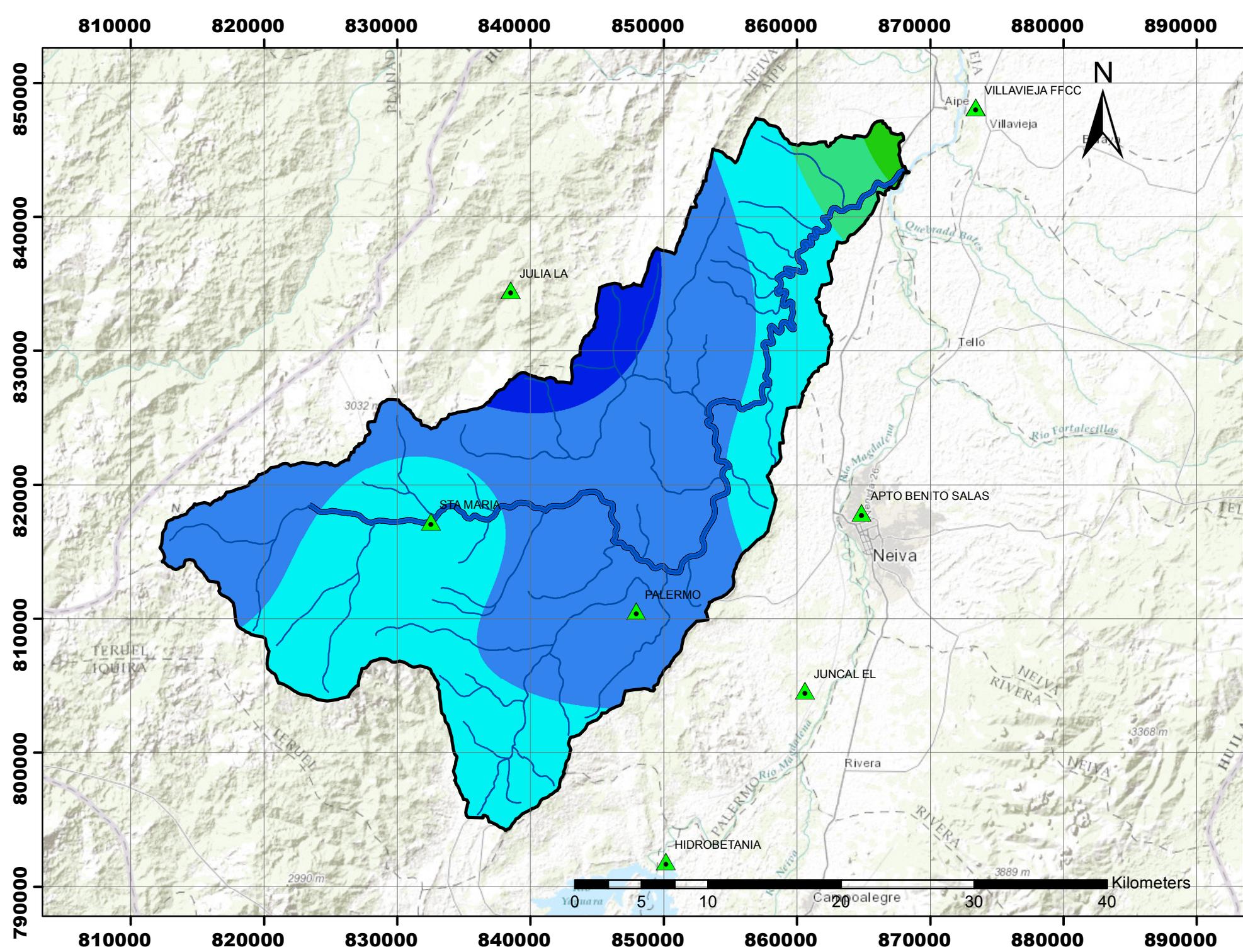
- Río\_Baché
- Hidrografia
- Encuestas
- Cuenca Río Baché



Projected Coordinate System:  MAGNA\_Colombia\_Bogota  
 Projection:  Transverse\_Mercator  
 False\_Easting:  1000000.00000000  
 False\_Northing:  1000000.00000000  
 Central\_Meridian:  -74.07750792  
 Scale\_Factor:  1.00000000  
 Latitude\_Of\_Origin:  4.59620042  
 Linear Unit:  Meter



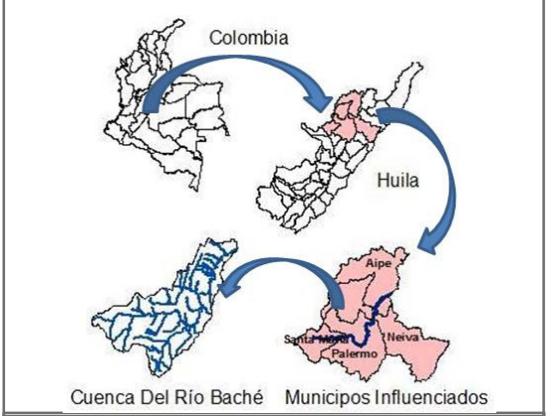
**Autores:**  
 Pablo Andres Garcia O  
 Hernan Javier Castillo C



Caracterización climática en el contexto de ordenamiento productivo agrícola de la cuenca hidrográfica del Río Baché ubicada al norte de departamento del Huila.

Mapa de Isoyetas de la cuenca hidrográfica del Río Baché-Huila

**UBICACION GEOGRAFICA**



**LEYENDA**

- Cuenca Río Baché
  - Estaciones\_hidrologicas
  - Hidrografia
  - Río\_Baché
- PRECIPITACIÓN RANGOS**
- 95 - 100
  - 100-110
  - 110-120
  - 120-130
  - 130 - 140

**Projected Coordinate System:**  MAGNA\_Colombia\_Bogota  
**Projection:**  Transverse\_Mercator  
**False\_Easting:**  1000000.00000000  
**False\_Northing:**  1000000.00000000  
**Central\_Meridian:**  -74.07750792  
**Scale\_Factor:**  1.00000000  
**Latitude\_Of\_Origin:**  4.59620042  
**Linear Unit:**  Meter

**Autores:**  
Pablo Andres Garcia O  
Hernan Javier Castillo C

810000 820000 830000 840000 850000 860000 870000 880000 890000

Caracterización climática en el contexto de ordenamiento productivo agrícola de la cuenca hidrográfica del Río Baché ubicada al norte de departamento de del Huila.

Mapa de Isotermas de la cuenca hidrográfica del Río Baché-Huila

UBICACION GEOGRAFICA



LEYENDA

- Cuenca Río Baché
Estaciones\_hidrologicas
Hidrografia
Río\_Baché

isotermas

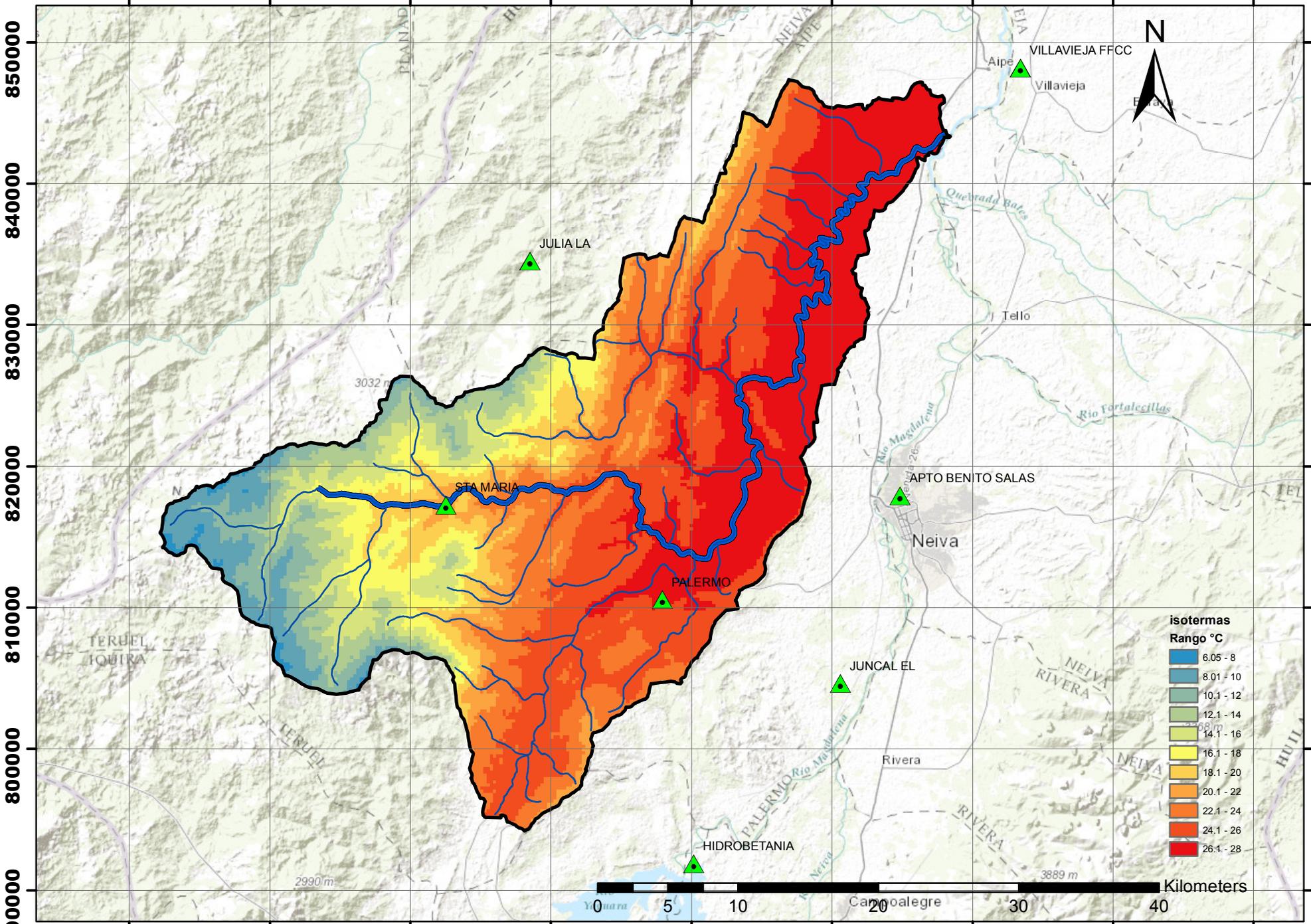
Table with 10 rows showing temperature ranges in degrees Celsius and corresponding color codes for isotherms.

Projected Coordinate System: MAGNA\_Colombia\_Bogota
Projection: Transverse\_Mercator
False\_Easting: 1000000.00000000
False\_Northing: 1000000.00000000
Central\_Meridian: -74.07750792
Scale\_Factor: 1.00000000
Latitude\_Of\_Origin: 4.59620042
Linear Unit: Meter



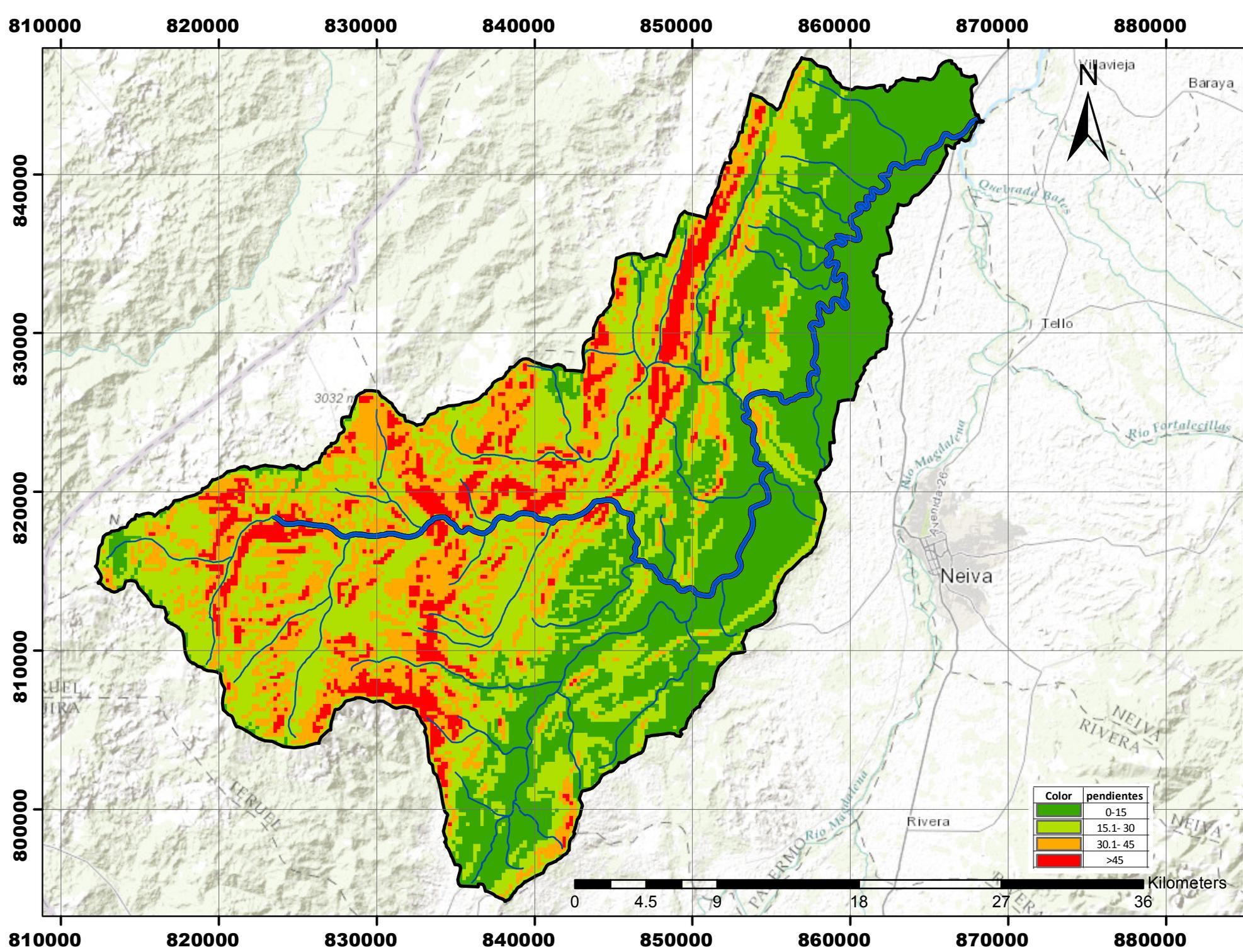
Autores: Pablo Andres Garcia O, Hernan Javier Castillo C

0 5 10 20 30 40 Kilometers



850000
840000
830000
820000
810000
800000
790000

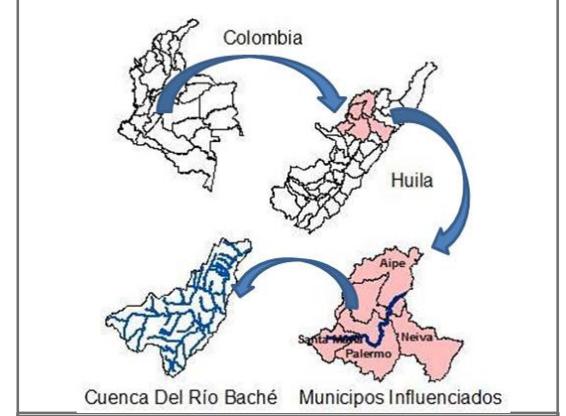
850000
840000
830000
820000
810000
800000
790000



Caracterización climática en el contexto de ordenamiento productivo agrícola de la cuenca hidrográfica del Río Baché ubicada al norte de departamento del Huila.

Mapa de Pendientes de la cuenca hidrográfica del Río Baché-Huila

**UBICACION GEOGRAFICA**



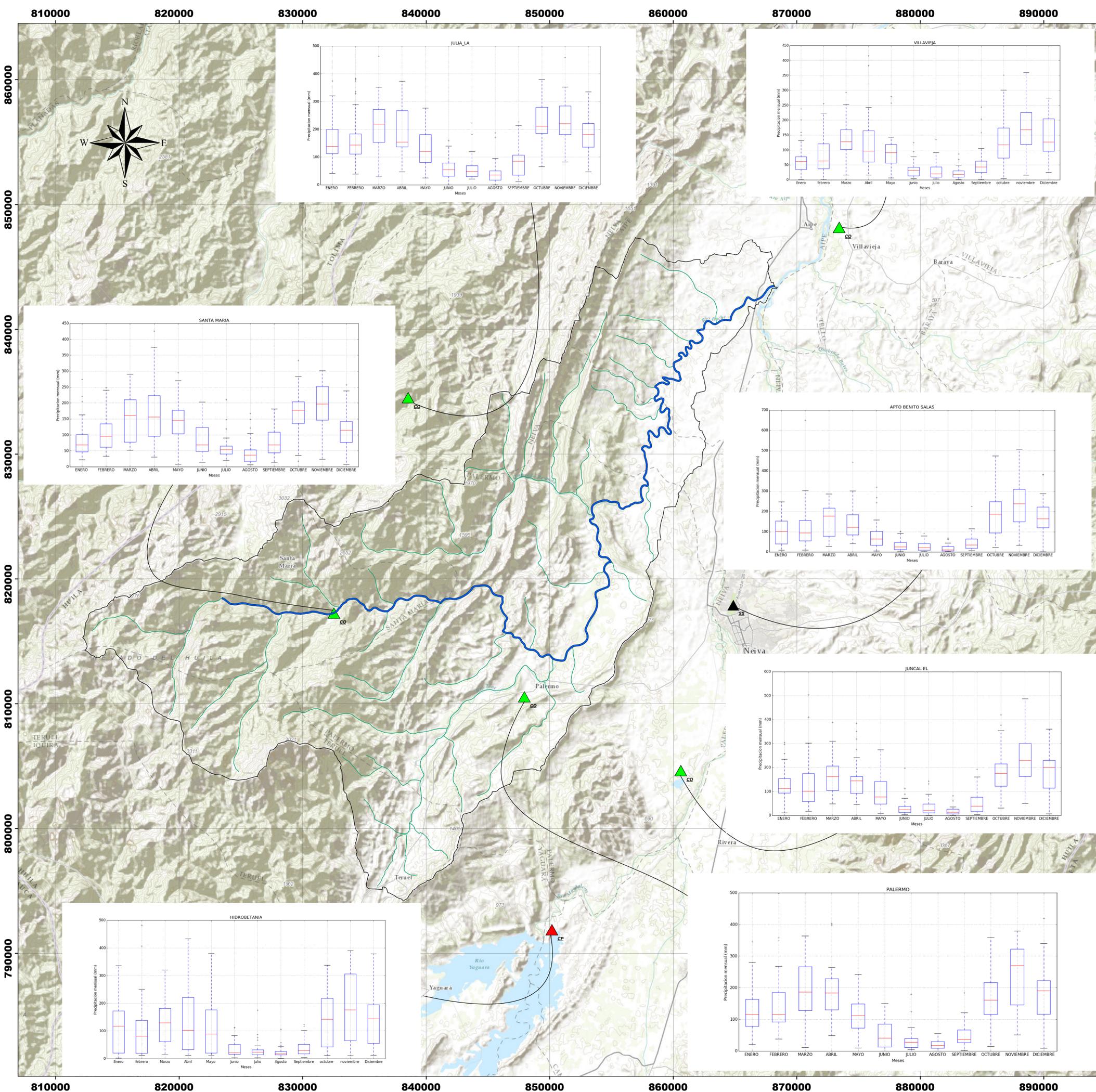
**LEYENDA**

- Cuenca Río Baché
- Hidrografia
- Río\_Baché


 Projected Coordinate System:  MAGNA\_Colombia\_Bogota  
 Projection:  Transverse\_Mercator  
 False\_Easting:  1000000.00000000  
 False\_Northing:  1000000.00000000  
 Central\_Meridian:  -74.07750792  
 Scale\_Factor:  1.00000000  
 Latitude\_Of\_Origin:  4.59620042  
 Linear Unit:  Meter


 Autores:  
 Pablo Andres Garcia O  
 Hernan Javier Castillo C

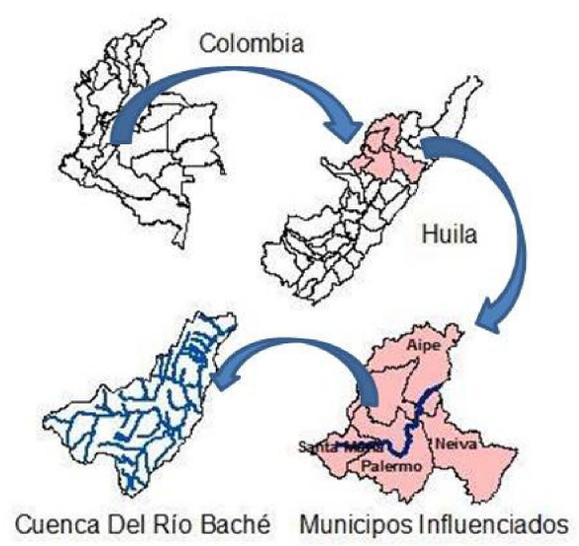




Caracterización climática en el contexto del ordenamiento productivo agrícola de la cuenca hidrográfica del Río Baché ubicada al norte del departamento del Huila.

Distribución Espacial del análisis exploratorio (Boxplot) en la cuenca hidrográfica del Río Baché-Huila

**UBICACION GEOGRAFICA**



**LEYENDA**

- Cuenca Río Baché
- Río\_Baché
- Hidrografía

**Estaciones\_hidrologicas**

- Cat**
- CO
  - CP
  - SS



Projected Coordinate System:  MAGNA\_Colombia\_Bogota  
 Projection:  Transverse\_Mercator  
 False\_Easting:  1000000.00000000  
 False\_Northing:  1000000.00000000  
 Central\_Meridian:  -74.07750792  
 Scale\_Factor:  1.00000000  
 Latitude\_Of\_Origin:  4.59620042  
 Linear Unit:  Meter



**Autores:**  
 Pablo Andres Garcia O  
 Hernan Javier Castillo C