

EVALUACIÓN PILOTO DEL ESTADO HIDROLÓGICO ACTUAL DE LA  
MICROCUEENCA SÁCAMA, MUNICIPIO SÁCAMA – CASANARE, APLICANDO EL  
MODELO SWAT (SOIL AND WATER ASSESSMENT TOOL).

Deisy Mercedes Prieto Mora.

Universidad de Pamplona.  
Facultad de Ingenierías y Arquitectura.  
Pamplona, Colombia.  
2020.

EVALUACIÓN PILOTO DEL ESTADO HIDROLÓGICO ACTUAL DE LA  
MICROCUEENCA SÁCAMA, MUNICIPIO SÁCAMA – CASANARE, APLICANDO EL  
MODELO SWAT (SOIL AND WATER ASSESSMENT TOOL).

Deisy Mercedes Prieto Mora.

Proyecto de investigación presentado como requisito parcial para optar al título de:  
Ingeniero Ambiental.

Director:  
Fidel Antonio Carvajal Suarez.

Línea de investigación:  
Modelamiento Hidrológico.

Universidad de Pamplona.  
Facultad de Ingenierías y Arquitectura.  
Pamplona, Colombia.

2020.

## Índice

Resumen.....	12
Abstract.....	13
Introducción.....	14
Capítulo 1. Planteamiento Del Problema Y Justificación.....	16
Planteamiento Del Problema.....	16
Justificación.....	17
Capítulo 2. Objetivos.....	19
Objetivos.....	19
<i>Objetivo General</i> .....	19
<i>Objetivos Específicos</i> .....	19
Capítulo 3. Marco Teórico.....	20
Antecedentes.....	20
Base Teórica.....	23
Marco Legal.....	25
Marco Contextual.....	27
Capítulo 4. Marco Metodológico.....	29
Metodología.....	29
Descripción De Las Actividades.....	29

<i>Recopilación De La Información Temática Del Área De Estudio</i> .....	29
<i>Análisis De La Información</i> .....	30
<i>Implementación Del Modelo</i> .....	31
<i>Calibración Del Modelo</i> .....	31
<i>Simulación Y Análisis De Los Datos Obtenidos</i> .....	32
Capítulo 5. Ejecución Del Proyecto.....	34
Delimitación De La Microcuenca Sácama.....	34
Análisis De Información Climática.....	35
Implementación Del Modelo.....	35
<i>Delimitación De Las Subcuencas</i> .....	35
<i>Introducción Información Del Suelo</i> .....	37
Homologación Uso Del Suelo.....	38
Homologación Tipo De Suelo.....	40
Ejecución Herramienta Land Use/Soils/Slope Definition.....	42
<i>Generación De Unidades De Respuesta Hidrológica</i> .....	45
<i>Importación Base De Datos Meteorológica Global</i> .....	46
<i>Generación Del Número De Curva</i> .....	46
<i>Visualización De La Herramienta Del Balance Hídrico</i> .....	50

Calibración Del Modelo.....	50
Simulación Del Modelo.....	51
Determinación De Zonas De Potencialidad Hídrica.....	51
Capítulo 6. Resultados Y Análisis.....	56
Bases De Datos.....	56
Reporte Topográfico.....	66
Reporte URH (Unidades De Respuesta Hidrológica.....	69
Balance Hídrico.....	76
Calibración Del Modelo.....	78
Simulación Del Modelo.....	81
Zonas De Potencialidad Hídrica.....	82
Capas Temáticas.....	99
<i>Validación Cobertura De La Tierra De La Microcuenca Sácama.....</i>	<i>100</i>
<i>Validación Suelo Del Territorio Colombiano De La Microcuenca Sácama.....</i>	<i>106</i>
Prueba De La Bola De Barro.....	107
Prueba De Manipulación.....	109
Prueba De La Botella.....	111
<i>Validación Litología De La Microcuenca Sácama.....</i>	<i>112</i>
Publicación De Resultados.....	115

Conclusiones.....	116
Recomendaciones.....	117
Referencias.....	118

## Índice De Figuras

Figura 1. Mapa De Delimitación De La Microcuenca Sácama.....	28
Figura 2. Diagrama Diseño Metodológico General Del Proyecto.....	29
Figura 3. Dato Faltante Con Proporciones Normales Con Una Estación.....	31
Figura 4. Coeficiente De Eficiencia De Nash Y Sutcliffe.....	32
Figura 5 Método Participativo De Matus.....	33
Figura 6. Cuadro De Dialogo De La Herramienta Wathershed Delination.....	36
Figura 7. Mapa De Delimitación De Las Subcuencas De La Microcuenca Sácama.....	37
Figura 8. Equivalencia Cobertura De La Tierra.....	39
Figura 9. Triángulo Textural De USDA.....	41
Figura 10. Equivalencia Suelo Del Territorio Colombiano.....	42
Figura 11. Mapa De Reclasificación Del Uso Del Suelo De La Microcuenca Sácama.....	43
Figura 12. Mapa De Reclasificación Del Tipo De Suelo De La Microcuenca Sácama.....	44
Figura 13. Mapa De Reclasificación De La Pendiente De La Microcuenca Sácama.....	45
Figura 14. Diagrama Para La Determinación Del Tipo De Suelo (Método Del Número De Curva).....	47
Figura 15. Base De Datos Estándar De Cn “Nclookup”.....	49
Figura 16. Mapa De Número De Curva De La Microcuenca Sácama.....	49
Figura 17. Cuadro De Dialogo De La Herramienta Del Balance Hídrico.....	50

Figura 18. Curva Hipsométrica De La Microcuenca Sácama.....	66
Figura 19. Dendograma, Del Método De Conglomeración Ward, Con Métrica Euclidiana Cuadrada.....	68
Figura 20. Porcentaje De Área De Unidades De Respuesta Hidrológica (AGRC).....	69
Figura 21. Porcentaje De Área De Unidades De Respuesta Hidrológica (FRSE).....	70
Figura 22. Porcentaje De Área De Unidades De Respuesta Hidrológica (FRST).....	71
Figura 23. Porcentaje De Área De Unidades De Respuesta Hidrológica (UINS).....	72
Figura 24. Porcentaje De Área De Unidades De Respuesta Hidrológica (PAST).....	73
Figura 25. Porcentaje De Área De Unidades De Respuesta Hidrológica (RNGE).....	74
Figura 26. Porcentaje De Área De Unidades De Respuesta Hidrológica (WATR).....	75
Figura 27. Balance Hídrico Parcial De La Microcuenca Sácama.....	77
Figura 28. Calibración Del Modelo De La Microcuenca Sácama.....	80
Figura 29. Mosaico De Los Aforos Volumétricos Del Mes De Octubre Y Noviembre.....	81
Figura 30. Mapa De Las Zonas De Potencialidad Hídrica De La Microcuenca Sácama.....	99
Figura 31. Tejido Urbano Discontinuo.....	101
Figura 32. Pastos Enmalezados Y Herbazales.....	102
Figura 33. Pastos Enmalezados.....	102
Figura 34. Mosaico De Pastos Y Cultivos.....	103
Figura 35. Mosaico De Cultivos, Pastos Y Espacios Naturales.....	103



Figura 36. Mosaico De Pastos Con Espacios Naturales.....	104
Figura 37. Bosque Denso.....	104
Figura 38. Bosque Fragmentado.....	105
Figura 39. Vegetación Secundaria O En Transición.....	106
Figura 40. Bola De Barro De 3 Cm.....	108
Figura 41. Bola De Barro De Textura Media.....	108
Figura 42. Bola De Barro Textura Moderadamente Fina.....	109
Figura 43. Semicírculo De Las Muestras De Los Muestras 1 Y 2.....	110
Figura 44. Cilindro De 15 A 16 Cm De Longitud De Las Muestras 3 Y 4.....	110
Figura 45. Prueba De La Botella Muestras 1 Y 2.....	111
Figura 46. Prueba De La Botella Muestras 3 Y 4.....	112
Figura 47. Materiales Arcillosos, Lulitas, Areniscas.....	113
Figura 48. Materiales De Origen Coluvial Heterométrico Con Matriz Gruesa.....	114
Figura 49. Areniscas.....	114
Figura 50. Zona Urbana.....	115

### **Índice De Tablas.**

Tabla 1. Detalle De Información Requerida Para El Desarrollo Del Proyecto.....	29
Tabla 2. Leyenda Shapefile Cobertura De La Tierra.....	38

Tabla 3. Homologación Cobertura De La Tierra.....	39
Tabla 4. Homologación Suelo Del Territorio Colombiano.....	41
Tabla 5. Reclasificación Cobertura De La Tierra.....	48
Tabla 6. Atributos Del Número De Curva.....	48
Tabla 7. Ponderación De La Posibilidad De Recarga Hídrica Según El Tipo De Pendiente.....	52
Tabla 8. Ponderación De La Capacidad De Recarga Hídrica Del Suelo Según Su Textura.....	52
Tabla 9. Ponderación De La Posibilidad De Recarga Hídrica Según El Tipo De Roca.....	53
Tabla 10. Ponderación De La Posibilidad De Recarga Hídrica Según El Porcentaje De Cobertura Vegetal.....	54
Tabla 11. Ponderación De La Posibilidad De Recarga Hídrica Según El Porcentaje Del Uso Del Suelo.....	55
Tabla 12. Datos De Caudal Mensual Multianual De La Estación Limnigráfica Puente Quemado [36027010].....	56
Tabla 13. Datos De Precipitación Mensual Multianual De La Estación Pluviométrica Puente Quemado [36020010].....	57
Tabla 14. Datos De Precipitación Mensual Multianual De La Estación Climática Ordinaria Chita Aut [24035250].....	58
Tabla 15. Datos De Precipitación Mensual Multianual De La Estación Climática Ordinaria Cardon El [35235010].....	60

Tabla 16. Datos De Precipitación Mensual Multianual De La Estación Climática Ordinaria Tamara Aut [35235050].....	62
Tabla 17. Datos De Temperatura Media Mensual Multianual De La Estación Climática Ordinaria Chita Aut [24035250].....	63
Tabla 18. Datos De Temperatura Media Mensual Multianual De La Estación Climática Ordinaria Cardon El [35235010].....	64
Tabla 19. Datos De Temperatura Media Mensual Multianual De La Estación Climática Ordinaria Tamara Aut [35235050].....	65
Tabla 20. Datos De Elevación Máxima, Mínima, Meda, Y Desviación Estándar De Las 23 Subcuencas De La Microcuenca Sácama.....	67
Tabla 21. Datos De Caudal Real Y Simulado, De La Microcuenca Sácama.....	78
Tabla 22. Datos De Caudal Simulado y Aforos, De La Microcuenca Sácama.....	82
Tabla 23. Potencial De Recarga Hídrica Según El Método Participativo De Matus.....	83
Tabla 24. Ponderaciones y posibilidad de recarga de las zonas de la Microcuenca Sácama.....	84
Tabla 25. Coordenadas Puntos De Verificación De La Cobertura De La Tierra.....	100
Tabla 26. Coordenadas Puntos De Verificación Del Suelo Del Territorio Colombiano.....	107
Tabla 27. Coordenadas Puntos De Verificación De La litología.....	113

## Resumen

La modelación hidrológica es una herramienta fundamental en el manejo, planeación y aprovechamiento del recurso hídrico, ya que muestra de forma cuantificable los puntos o causas de posibles problemas que puedan afectar a una zona desde el punto de vista hidrológico. En la presente investigación se realizó la evaluación piloto de la condición hidrológica actual de la Microcuenca Sácama, municipio Sácama - Casanare, implementando el modelo SWAT (Soil and Water Assessment Tool), que es un modelo dinámico en espacio y tiempo, de simulación hidrológica. Siguiendo la metodología descrita en el capítulo 5 de esta investigación “Ejecución del modelo”, se obtuvo que la microcuenca se encuentra en fase de equilibrio o etapa de madurez, por lo que no presenta gran potencial erosivo, además, se generaron 484 unidades de respuesta hidrológica, que están directamente relacionadas con la homologación de la cobertura de la tierra. Por otra parte, se logró un valor de eficiencia de Nash Y Sutcliffe de 0.402 a 0.595, que bajo los criterios de Molnar (2011) clasifica a la calibración del modelo como bueno, también, se efectuaron aforos volumétricos para conocer el porcentaje de error de los caudales reales vs los caudales simulados obteniendo -1.22% para el mes de octubre y de 0.80% para el mes de noviembre del año en curso, por último, con el fin de aportar información de calidad y útil, para la toma de decisiones en el manejo del recurso hídrico de este municipio; se identificaron las subcuencas de mayor potencialidad hídrica.

Palabras claves: Cuenca Hidrográfica, Simulación Hidrológica, Modelo SWAT, URH, Zona De Recarga Hídrica.

## Abstract

Hydrological modeling is a fundamental tool in the management, planning and use of water resources, since it shows in a quantifiable way the points or causes of possible problems that may affect an area from the hydrological point of view. In this research, the pilot evaluation of the current hydrological condition of the Sácama Microbasin, Sácama - Casanare municipality was carried out, implementing the SWAT (Soil and Water Assessment Tool) model, which is a dynamic model in space and time, of hydrological simulation. Following the methodology described in chapter 5 of this research "Execution of the model", it was obtained that the microbasin is in the equilibrium phase or the maturity stage, so it does not present great erosive potential, in addition, 484 response units were generated hydrological, which are directly related to the homologation of land cover. On the other hand, a Nash and Sutcliffe efficiency value of 0.402 to 0.595 was achieved, which under the criteria of Molnar (2011) classifies the calibration of the model as good, also, volumetric gauges were made to know the percentage of error of the real flows vs the simulated flows, obtaining -1.22% for the month of October and 0.80% for the month of November of the current year, finally, in order to provide quality and useful information for decision-making in the management of the water resource of this municipality; The sub-basins with the greatest water potential were identified.

Keywords: Watershed, Hydrological Simulation, SWAT Model, URH, Water Recharge Zone.

## Introducción

La degradación y deterioro de las cuencas hidrográficas es uno de los problemas ambientales de mayor significación que enfrentan los países en el mundo, además de inconvenientes asociados, con inundaciones y sequías, que pueden deberse a diferentes factores y uno de ellos tiene que ver con la cobertura vegetal. Esta influye de alguna manera en la respuesta hidrológica y este efecto ha sido motivo de estudio durante mucho tiempo (Duque, 1993).

Sácama hace parte de la cuenca alta del Río Casanare, es un municipio rico en recursos hídricos, forestales y faunísticos que se hacen cada vez más vulnerables y frágiles ante el aumento de la deforestación (Alcaldía Municipal Sácama, 2016). Teniendo en cuenta el Esquema de Ordenamiento Territorial (2008), se identifican ocho microcuencas en el territorio del municipio (Guivarin, Sácama, Macueque, Aguablanca, La Colorada, Los Tanques, Guinería y la Casirva). Comparando el área correspondiente a cada una de ellas se establece que la Microcuenca Sácama presenta la mayor área aportante a la cuenca alta del Río Casanare, con un área aproximadamente de 109,28 Km<sup>2</sup>, dicha Microcuenca se forma de las quebradas la laja negra que nacen en límites con Chita y Támara (Sácama SA ESP, 2017).

Actualmente las aguas de la Microcuenca son utilizadas para el riego de potreros, estanques piscícolas, bebedero de ganados y abastecimiento de agua para consumo humano de la cabecera municipal. Sin embargo, dada la presión antrópica se ha evidenciado un efecto negativo en la calidad del agua y disminución de la biodiversidad, debido al incremento de la ganadería extensiva, proyectos de infraestructura y crecimiento poblacional que han venido afectando la zona de estudio.

Para la presente investigación se implementa la herramienta SWAT (Soil and Water Assessment Tool), la cual es un modelo dinámico en espacio y tiempo, de simulación hidrológica; el cual opera mediante una interface de ArcGIS denominada ArcSWAT, la cual es usada mediante los sistemas de información geográfica. Para implementar este modelo es necesario contar con información climática histórica, usos del suelo, coberturas de la tierra, unidades de análisis hidrológicas y red hidrológica; información que permite dividir la zona de estudio en subáreas de análisis las cuales contienen características físicas y climatológicas homogéneas, siendo esto una ventaja para la interpretación de los resultados obtenidos mediante la simulación (Pajarito Grajales, 2017).

Con este modelo se busca crear un referente teórico que indique en detalle las variables climáticas asociadas del área de estudio y las zonas de potencialidad hídrica; a partir de los cuales se puede formular estrategias apropiadas y eficaces para el manejo sustentable del recurso hídrico.

## Capítulo 1. Planteamiento Del Problema Y Justificación

### Planteamiento Del Problema

Las cuencas hidrográficas son de vital importancia ya que originan múltiples servicios ecosistémicos como generación de energía, riego de potreros, bebedero de ganados, higiene básica, consumo directo del líquido, transporte, entre otros. Actualmente la degradación de las cuencas es un tema de investigación significativa, debido a que se generan consecuencias negativas que afectan directamente a la población.

En los diferentes países latinoamericanos, existe una amplia gama de estudios de la aplicación del modelo SWAT (Soil And Water Assessment Tool) para la simulación hidrológica de cuencas, que permiten cuantificar los posibles cambios en la dinámica hidrológica. Un caso a mencionar es el de Artoga (2011) en la cuenca del Rio Majac de México, donde se empleó el modelo para predecir la cantidad de escurrimientos y sedimentos presentes en la cuenca, para ello se aplicó el sistema de información geográfica ArcView, se tomaron los datos climatológicos e hidrométricos de diez años (1998-2008), generando como resultado que las subcuencas 1, 5 y 6 presentaron la mayor cantidad de precipitación media anual en un rango de 1735,0 a 1840,6 mm, mientras que los mayores escurrimientos superficiales se concentraron en las subcuencas 1, 2, 3 y 10 en un rango de 510,9 a 675,7 mm. A nivel nacional Pajarito (2017) estudió la unidad hidrológica Rio Hacha de Florencia Caquetá, donde se buscó predecir la producción de agua y sedimentos, como estrategia para la identificación de los impactos y posibles cambios asociados a las actividades desarrolladas en la zona, la implementación del modelo arrojó como promedio anual de precipitación un valor de 2585 mm, además, se encontró que la zona presenta un régimen de lluvias monomodal, con mayor precipitación en los meses de abril a noviembre.



A nivel local, en el municipio de Sácama se encuentran grandes debilidades principalmente por la ausencia de información sobre los predios y ecosistemas estratégicos que se encuentran en áreas de las cuencas, adicionalmente no se encuentra información de estudios que apliquen este modelo. De la Microcuenca Sácama, no se cuenta con información, que permita establecer el estado de conservación y uso del recurso hídrico, y dada la presión antrópica se ha evidenciado un efecto negativo en la calidad del agua y disminución de la biodiversidad, debido al incremento de la ganadería extensiva, proyectos de infraestructura y crecimiento poblacional que han venido afectando la zona; por tal motivo se requiere aplicar el modelo SWAT (Soil And Water Assessment Tool), que conduzcan a obtener información sobre la Microcuenca Sácama y a partir de esta realizar una buena planificación del recurso hídrico. Además, a través de la ejecución del modelo se busca obtener un modelo calibrado y validado para la simulación hidrológica.

### **Justificación**

Como ingenieros se busca contribuir a la solución de problemas ambientales que se presentan actualmente en las cuencas, por lo que es conveniente generar hipótesis que conlleven a la formulación e investigación de algún proyecto en específico que permita en este caso evaluar el futuro de los recursos hidrológicos y cuantificar los posibles cambios en la dinámica hidrológica de la Microcuenca Sácama, donde en los últimos años la ganadería extensiva, los proyectos de infraestructura y el crecimiento poblacional, han generado varios cambios importantes y deterioro de la cobertura vegetal de la Microcuenca.

Los resultados obtenidos de esta investigación ayudaran en primer lugar a establecer en detalle las variables climáticas asociadas a la zona de la Microcuenca, esto debido a que el modelo genera las URH (Unidades De Respuesta Hidrológica). En segundo lugar, determinara

las zonas de potencialidad hídrica, por el método participativo de Matus, a partir de las cuales se puede generar estrategias apropiadas y eficaces para el manejo sustentable del recurso hídrico; como, por ejemplo, restauración, tecnología limpia, saneamiento básico, educación ambiental, sostenibilidad en el uso del recurso, fortalecimiento institucional, entre otras. Lo anterior debido a que el modelo incorpora información de los tipos de suelo, tipos de roca, cobertura vegetal y usos del suelo en las diferentes capas temática. Por otra parte, este modelo subdivide las unidades de análisis en pequeñas áreas, lo que facilita en gran medida el análisis de los resultados obtenidos y a su vez da mayor detalle, aumentando la posibilidad de tomar decisiones locales.

La investigación podrá generar resultados óptimos que demostraran la validez de la simulación hidrológica tanto a nivel de la Microcuenca como a nivel regional, siendo oportuno dar a conocer a la comunidad, alcaldía, estudiantes de ingeniería ambiental y otras carreras a fines; por medio de socializaciones con los líderes comunitarios quienes difundirán la información, ya que por la situación actual de salud no se pueden realizar aglomeraciones, adicionalmente, se realizarán publicaciones de folletos y póster en sitios web como WordPress, que transmitirán los resultados de la investigación y los cambios en los ecosistemas naturales que son los que conllevan al deterioro progresivo del medio ambiente y de la calidad de vida de las personas que allí habitan. Por último, se espera que la investigación tenga aceptación en el campo del conocimiento ya que permite establecer una diversidad de estrategias apropiadas y eficaces para el manejo sustentable del recurso hídrico.

## Capítulo 2. Objetivos

### Objetivos

#### *Objetivo General*

Evaluar la condición hidrológica actual de la Microcuenca Sácama, municipio Sácama - Casanare, implementando el modelo SWAT (Soil and Water Assessment Tool).

#### *Objetivos Específicos*

- Recopilar y procesar la información temática del área de estudio de acuerdo a los formatos requeridos por el modelo SWAT.
- Aplicar el modelo de simulación hidrológica SWAT para elaborar el balance hídrico mensual de la Microcuenca Sácama a escala temporal.
- Calibrar el modelo hidrológico SWAT con los datos de caudal de la estación limnigráfica Puente Quemado [36027010].
- Simular el modelo hidrológico SWAT calibrado bajo el módulo hidrológico y el método de distribución de lluvia normal.

### Capítulo 3. Marco Teórico

#### Antecedentes

El modelo SWAT (Soil And Water Assessment Tool) creado en la década de los noventa integra características de varios modelos de ARS (Servicio de Investigación Agrícola) y es una consecuencia directa del modelo SWRRBI (Simulador para Recursos de Agua en Cuencas Hidrográficas Rurales). Los modelos específicos que contribuyeron significativamente al desarrollo del modelo SWAT (Soil And Water Assessment Tool) fueron CREAMS2 (Sustancias Químicas, Escorrentías, y la Erosión del Sistema de Gestión Agrícola), GLEAMS3 (Efectos de la carga de Agua Subterránea en Sistemas de Gestión Agrícola) y EPIC4 (Calculadora del Impacto de la Erosión-Productividad) (Uribe, 2010).

Desde que SWAT (Soil And Water Assessment Tool) fue creado ha experimentado revisión y expansión continua de sus capacidades; por ejemplo; SWAT94,2 incorporo múltiples URH (Unidades De Respuesta Hidrológica); SWAT96,2 implemento la auto-fertilización y la auto-irrigación como opciones de gestión, almacenamiento de agua, componente CO2 para el desarrollo de cosechas, estudios de cambio climático, flujo de agua lateral en el suelo, enrutamiento de pesticidas en corrientes; SWAT98,1 anexo rutinas mejoradas de derretimiento de nieve, calidad de agua en corriente, ciclo de nutrientes, efecto rasante, aplicaciones de abono, drenaje de flujo; SWAT99,2 agrego mejoras del ciclo de nutrientes, almacenamiento de bancos de agua, enrutamiento de metales; SWAT2000 integro rutinas de transporte de bacterias, infiltración de Green & Ampt, generador del tiempo, procesos de banda de elevación; SWAT2005 incluyo escenarios de pronósticos del tiempo, generador de precipitación, contenido de agua en el suelo. Además de los cambios enumerados anteriormente, el modelo ha sido desarrollado en interfaces como Visual Basic, GRASS, ArcView y ArcGIS (Uribe, 2010).

Para llevar a cabo la presente investigación se recurrió a la búsqueda de estudios previos relacionados con la implementación del modelo SWAT (Soil And Water Assessment Tool) en cuencas hidrográficas, donde se evalúa el comportamiento de las variables climáticas, a partir de los resultados generados en estos estudios. A continuación, se presentan algunos estudios:

Artoga (2011) en la cuenca del Río Majac de México, empleó el modelo para predecir la cantidad de escurrimientos y sedimentos presentes en la cuenca, para ello se aplicó el sistema de información geográfica ArcView, se tomaron los datos climatológicos e hidrométricos de diez años (1998-2008), generando como resultado que las subcuencas 1, 5 y 6 presentaron la mayor cantidad de precipitación media anual en un rango de 1735,0 a 1840,6 mm, mientras que los mayores escurrimientos superficiales se concentraron en las subcuencas 1, 2, 3 y 10 en un rango de 510,9 a 675,7 mm.

Baquero (2015) en la Universidad de Costa Rica implementó la modelación hidrológica de las cuencas San Jerónimo Piedras, Río Blanco y Tenorio usando SWAT (Soil And Water Assessment Tool), con el fin de evaluar el modelo y su adaptación a condiciones del país. Se utilizaron los datos de dos estaciones limnigráficas, la primera estación llamada Rancho Horizontes que incluye las subcuencas de Río Piedras San Gerónimo y Río Blanco (cuenca 1) y la segunda Rancho Rey, que incluye la subcuenca de Río Tenorio (cuenca 2), con estas se realizó la comparación de datos entre la simulación y los datos observados. Se realizaron dos escenarios, el primero consistió en un cambio de cobertura disminuyendo el área boscosa, lo que aumenta los caudales en hasta 7,8 m<sup>3</sup>/s en promedio anual. El segundo escenario se dio bajo cambio de condiciones climáticas, aumentando la temperatura en un orden de 0,45°C y disminuyendo la precipitación en un 10 %, situación que disminuye los caudales de la cuenca en hasta 16,64%.

Ghoraba (2015) modeló el flujo de la corriente, el balance de agua y el flujo de volumen mensual, de la cuenca hidrográfica Simly Dam ubicada en el río Saon, en el norte de Islamabad, utilizando la herramienta de evaluación de suelos y agua (SWAT), el modelo se calibró de 1990 a 2001 y se evaluó de 2002 a 2011, con base en cuatro coeficientes estadísticos recomendados: Coeficiente de determinación ( $R^2$ ), Eficiencia Nash-Sutcliffe (NSE), Porcentaje de sesgo (PBIAS), Relación de desviación estándar de observaciones (RMSE). Los componentes de la cuenca se estimaron correctamente y el flujo de la represa se reprodujo con éxito con un coeficiente de determinación ( $R^2$ ) de 0.76.

Urrutia (2016) empleó el modelo hidrológico SWAT (Soil And Water Assessment Tool) para la modelación del ciclo hidrológico de la cuenca alta del Río San Juan ubicada en el departamento del Chocó, este modelo permitió tener de manera rápida una idea del comportamiento del ciclo hidrológico en la cuenca, bajo diferentes escenarios de deforestación, los cuales son producto de la actividad minera (extracción principalmente de oro, plata y platino). El modelo utilizó un número de variables espaciales y temporales, para reproducir los diversos fenómenos hídricos que se presentan al interior de una cuenca.

Pajarito (2017) estudió la unidad hidrológica Río Hacha de Florencia Caquetá, donde buscó predecir la producción de agua y sedimentos, como estrategia para la identificación de los impactos y posibles cambios asociados a las actividades desarrolladas en la zona, la implementación del modelo arrojó como promedio anual de precipitación un valor de 2585 mm, además, se encontró que la zona presenta un régimen de lluvias monomodal, con mayor precipitación en los meses de abril a noviembre.

Montacelos (2018) modeló el efecto de la variación climática en el balance hídrico en dos cuencas (México y Cuba) bajo un escenario de cambio climático, en este estudio se utilizó y se

propuso una parametrización para el modelo hidrológico SWAT (Soil And Water Assessment Tool) para evaluar los impactos del cambio climático sobre la disponibilidad de agua en la cuenca del Río Cauto localizada al sureste de Cuba y en la cuenca de Guadalupe ubicada en el noroeste de México. El modelo se calibró y validó en las dos cuencas obteniendo un buen desempeño según tres métricas de rendimiento: Coeficiente de eficiencia de Nash-Sutcliffe (NSE), Coeficiente de determinación ( $R^2$ ) y Sesgo porcentual (PBIAS). Las proyecciones futuras en la cuenca del Río Cauto sugieren aumentos regionales de  $1,5^{\circ}\text{C}$  en la temperatura y una disminución del 38% en la precipitación media anual. Por su parte en la cuenca del Río Guadalupe se espera un aumento de 8% en la precipitación anual asociado con el aporte de la lluvia de invierno y verano, y un posible aumento de  $1,2^{\circ}\text{C}$  en la temperatura media anual.

Ayivi & Jha (2018) estimó el balance y el rendimiento hídrico de la cuenca Reedy Fork Buffalo Crecken Carolina del Norte utilizando SWAT. En dicha cuenca se evaluó la correlación entre el flujo mensual observado y simulado, con las métricas de rendimiento Coeficiente de eficiencia de Nash-Sutcliffe (NSE) y Coeficiente de determinación ( $R^2$ ), obteniéndose que eran mayores a 0.7 para el periodo de calibración y simulación. Adicionalmente, se proyectó que para el año 2030 se presentara un aumento del 13.9% en la escorrentía superficial y 8,32% en el rendimiento del agua.

### **Base Teórica**

El modelo SWAT (Soil And Water Assessment Tool) es una herramienta desarrollada por el Dr., Jeff Arnold del Departamento de Agricultura de los Estados Unidos con el apoyo de la Universidad de Texas. SWAT (Soil And Water Assessment Tool) permite predecir y evaluar los impactos del uso del suelo en una cuenca, relacionados con uno o varios procesos hidrológicos; así mismo simula la producción de agua y sedimentos de acuerdo a las actividades

desarrolladas en una unidad hidrológica acorde con la información temporal y espacial existente. Este modelo permite incluir componentes hidrológicos (Precipitación, temperatura, humedad relativa, radiación solar y velocidad del viento), aportando información de valoración de los cambios generados en la producción de caudal y sedimentos en el área de estudio. Según la clasificación anteriormente descrita el modelo SWAT (Soil And Water Assessment Tool), es un modelo semidistribuido de variabilidad espacial, que arroja datos numéricos (Pajarito Grajales, 2017).

Los principales componentes del modelo incluyen parámetros climáticos, hidrológicos, propiedades del suelo, crecimiento de las plantas, nutrientes, pesticidas, bacterias y gestión de las actividades agrícolas, de manera que presenta una notable versatilidad, pudiendo ser utilizado con distintos objetivos. SWAT (Soil And Water Assessment Tool) genera resultados de caudal, sedimentos, nutrientes (Nitrógeno y Fósforo), pesticidas y bacterias (Uribe, 2010).

Se le atribuye la característica de semidistribuido debido al fraccionamiento espacial que realiza, ya que divide las subcuencas en Unidades de Respuesta Hidrológica, las cuales consisten en unidades con una misma pendiente, usos del suelo y condiciones edáficas, y, por tanto, con un comportamiento hidrológico similar (Neitsch et al., 2009). Se obtienen por superposición de cada uno de dichos datos para luego reagrupar zonas con características similares. Cada URH (Unidad De Respuesta Hidrológica) es considerada como una fracción de subcuenca sin ubicación específica (Uribe, 2010).

El modelo SWAT presenta de manera clara los diferentes datos espaciales ya que es una extensión de la herramienta ArcGIS donde es posible visualizar y modificar los datos, además, el uso de URH ayuda a mantener una buena resolución en datos y resultados. Por otra parte, se puede utilizar este programa tanto para estudio de avenidas máximas como para estudios



estacionales y es una herramienta que realiza homogenización y relleno de datos meteorológicos (Baquero Ureña, 2015).

Debido a las facilidades que nos brinda el modelo SWAT para el cálculo de diversas variables en cuencas, es que ha sido utilizado en varios países del mundo. Usualmente se modela con un enfoque específico, ya sea el cálculo de sedimentos, pesticidas o minerales, o desde el punto de vista hidrológico de cálculo de caudales en la cuenca. Es por este motivo que la cantidad de publicaciones científicas y tesis que utilizan SWAT es amplia (Baquero Ureña, 2015).

### **Marco Legal**

La gestión integral del recurso hídrico se fundamenta en un marco jurídico que procede desde la expedición del Decreto Ley 2811 de 1974 por el cual se dicta el Código Nacional de Recursos Naturales Renovables y de la Protección al Medio Ambiente donde define en su artículo 1 “El Ambiente es patrimonio común. El Estado y los particulares deben participar en su preservación y manejo, que son de utilidad pública e interés social”. Es decir que los actores beneficiados directa o indirectamente de las cuencas analizadas como un sistema deben mantener el rol que conlleve a la construcción de medidas de manejo para el cuidado de los recursos naturales, concebidos como un patrimonio común de la humanidad garantizando mantener el desarrollo económico, social y ambiental de la nación (Hernández Guerra, 2015).

A su vez en la Constitución Política de Colombia de 1991, en el artículo 80 define que: “El Estado planificará el manejo y aprovechamiento de los recursos naturales, para garantizar su desarrollo sostenible, su conservación, restauración o sustitución”. Es de recalcar que no sólo es competencia de este, sino que debe ser una responsabilidad compartida o bien conocida como

corresponsabilidad entre el Estado, sector privado, sector público, comunidad y otros que hagan uso de los recursos naturales con el fin de generar instrumentos de planificación a través de herramientas de participación (Hernández Guerra, 2015).

Con la expedición de la Ley 99 de 1993, se crea el Ministerio de Medio Ambiente como organismo rector de la gestión del medio ambiente y de los recursos naturales renovables y se establecen lineamientos para fortalecer el Sistema Nacional Ambiental y fijar las pautas generales para el ordenamiento y manejo de cuencas hidrográficas y demás áreas de manejo especial, al igual que establece la competencia a las Corporaciones Autónomas Regionales y de Desarrollo Sostenible en la ordenación y manejo de las cuencas hidrográficas ubicadas en el área de su jurisdicción (Ministerio De Ambiente Y Desarrollo Sostenible, 2020).

En 2010, el Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial, expidió la Política Nacional para la Gestión Integral del Recurso Hídrico, la cual define la cuenca hidrográfica como una unidad espacial de análisis y de gestión, en donde el agua interactúa con los demás recursos naturales renovables, elementos ambientales y/o ecosistemas estratégicos que la integran, así como los elementos antrópicos que influyen positiva o negativamente en la misma y los actores clave para la gestión integrada del recurso hídrico (Ministerio De Ambiente Y Desarrollo Sostenible, 2020).

Por lo anterior se expide el decreto 1640 del 2 de agosto de 2012 por medio del cual se reglamenta los instrumentos de planificación, ordenamiento y manejo de las cuencas hidrográficas y acuíferos, que de acuerdo al artículo 317 del Código Nacional de Recursos Naturales Renovables y de la Protección al Medio Ambiente se debe tener en cuenta los objetivos, metas, estrategias, indicadores y líneas de acción para el manejo del recurso en el país con el fin de definir no sólo el manejo sino apuntar a resolver problemáticas del recurso hídrico

que permitan tanto el uso eficiente como la preservación de las riquezas naturales (Hernández Guerra, 2015).

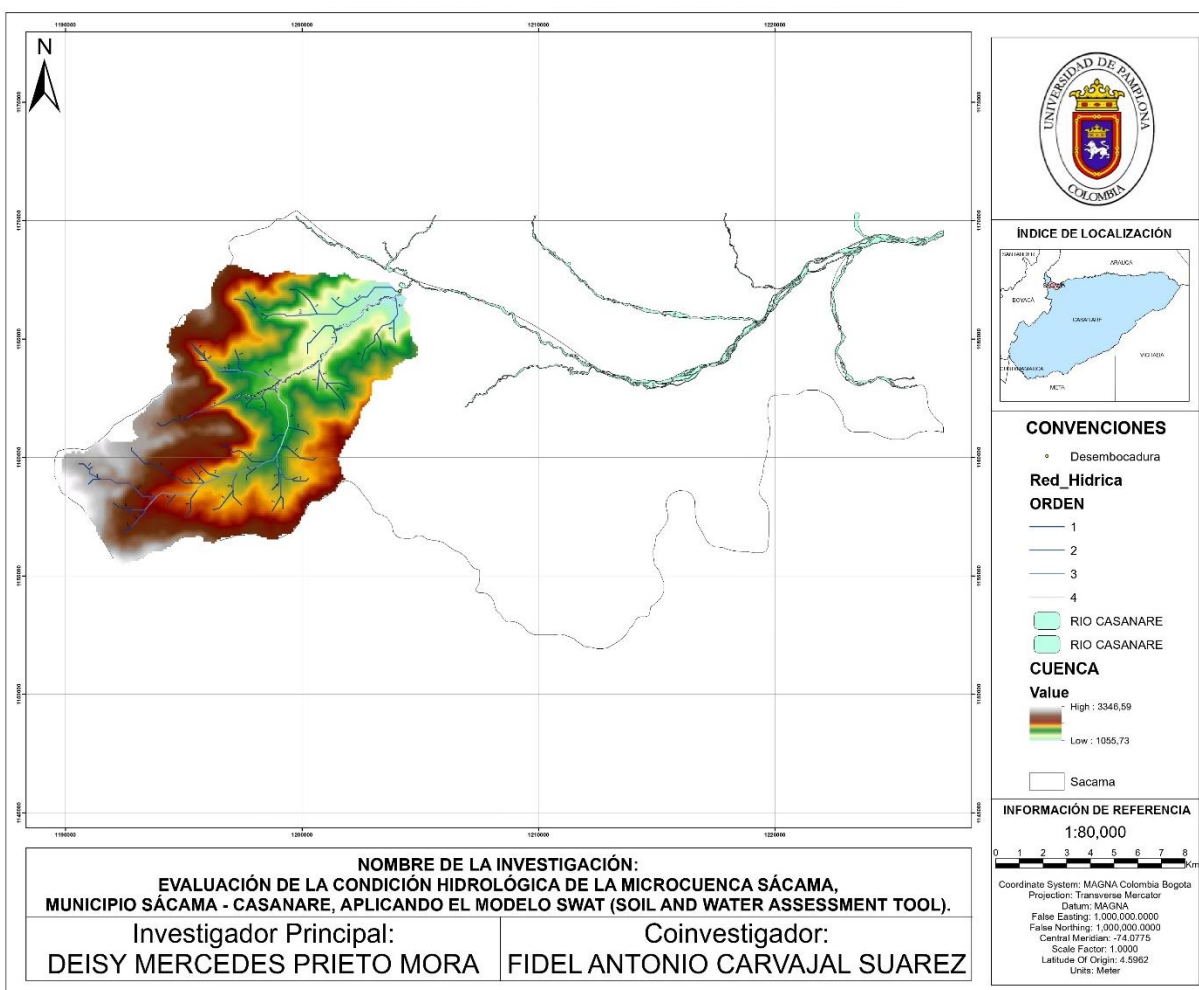
### **Marco Contextual**

El área de estudio se encuentra en el municipio de Sácama Casanare, este se localiza al Noroccidente del Departamento de Casanare en la Cordillera Oriental, tiene una extensión total de 312,7 km<sup>2</sup> y una población total de aproximadamente 2000 habitantes, se encuentra a una altitud de 1250 m.s.n.m., presentando temperaturas entre 18 y 20 °C. El municipio geológicamente se encuentra en rocas pertenecientes a la parte baja de la secuencia sedimentaria de unos 75000 metros de espesor de la Sierra Nevada del Cocuy. Esta secuencia se divide en tres sectores: el primero al oeste de la falla de Chiscas, el segundo entre la falla de Chiscas y la falla de Sácama y el último al este de la falla de Sácama. El municipio se encuentra casi en su totalidad al este de la falla de Sácama donde predomina las formaciones areniscas de las Juntas, Lutitas de Macanal, y algunos depósitos recientes del Cuaternario (Alcaldía Municipal Sácama, 2016).

En el municipio hay ocho microcuencas según el Esquema de Ordenamiento Territorial (2008), comparando el área correspondiente a cada una de ellas se establece que la Microcuenca Sácama presenta la mayor área aportante a la cuenca alta del Río Casanare, con un área aproximadamente de 109,28 Km<sup>2</sup> (Sácama SA ESP, 2017). Las aguas de la Microcuenca son utilizadas para el riego de potreros, estanques piscícolas y bebedero de ganados; de ahí la importancia que evaluar la condición hidrológica de dicha Microcuenca.

Figura 1

## Mapa De Delimitación De La Microcuenca Sácama



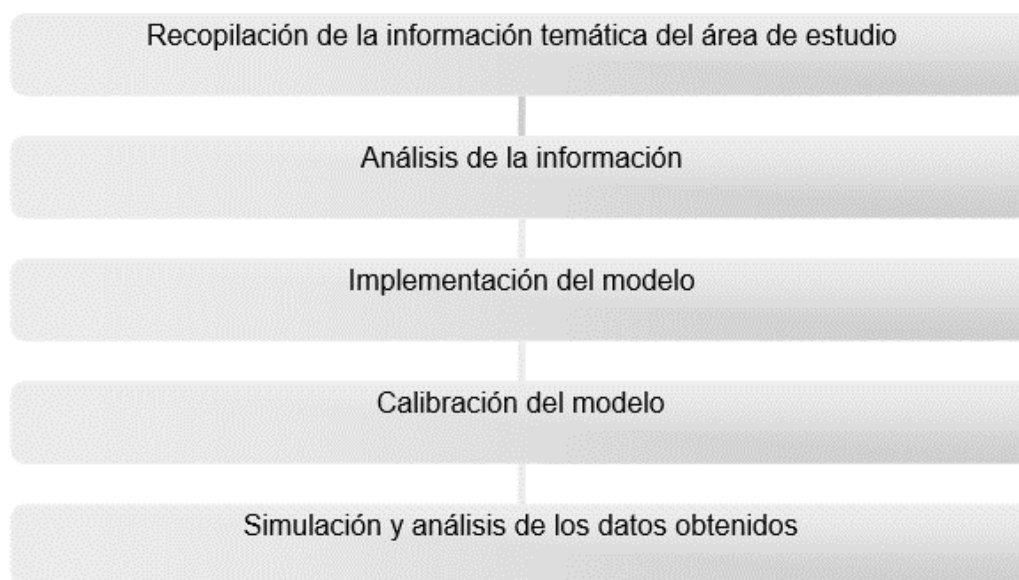
Nota: Este mapa presenta la delimitación de la Microcuenca Sácama a una escala 1:80000.

## Capítulo 4. Marco Metodológico

### Metodología

#### Figura 2

*Diagrama diseño metodológico general de la investigación*



Nota: Esta figura presenta el diagrama de la secuencia metodológica general de la investigación.

### Descripción De Las Actividades

#### *Recopilación De La Información Temática Del Área De Estudio*

**Tabla 1**

*Detalle De Información Requerida Para El Desarrollo Del Proyecto*

<b>Tipo De Información</b>	<b>Fuente</b>	<b>Escala</b>	<b>Año</b>
Estaciones climáticas (precipitación y temperatura) Nombre PUENTE QUEMADO [36020010] CATEGORIA Pluviométrica	IDEAM	Mensual	1985 - 2020
Nombre CHITA - AUT [24035250] CATEGORIA Climática Ordinaria			Dependien do de
Nombre CARDON EL [35235010] CATEGORIA Climática Ordinaria			disponibili dad.

Nombre TAMARA - AUT [35235050] CATEGORIA Climática Ordinaria			
Estación limnográfica Puente Quemado [36027010] (Caudal)	IDEAM	Mensual	1985 – 1992
Mapa de suelos	IGAC	100.000	2000
Mapa de coberturas	Propia Earth Explorer	50.000	2016
Red hídrica	IGAC	100.000	2014
Mapas base (Departamentos, municipios, ríos) Planchas (173IIA, 173IIB, 174IA, 153IVC, 153IVD, 154IIIC)	IGAC	100.000	2000
Modelo digital del terreno.	Earth Data	12.5 metros	2016

Nota: Esta tabla muestra la información necesaria, la fuente, la escala y el año disponible para el desarrollo de la investigación.

### ***Análisis De La Información***

Haciendo uso de la información cartográfica base de la zona de estudio y con ayuda del software ArcGIS, se delimitará la Microcuenca Sácama. Adicionalmente, se realizará un análisis de la información climática mensual disponible de las variables de Caudal, Precipitación y Temperatura, de las estaciones Limnográfica Puente Quemado [36027010], Pluviométrica Puente Quemado [36020010], Climática Ordinaria Chita Aut [24035250], Cardon El [35235010] y Tamara Aut [35235050]; según disponibilidad y de acuerdo a los formatos requeridos por el modelo SWAT (Soil And Water Assessment Tool). Posteriormente según el documento “Calculation of Monthly and Annual 30-Year Standard Normals” de la OMM (Organización Meteorológica Mundial) se llevará a cabo la depuración de datos no válidos, en donde se debe verificar que los datos no sean físicamente imposibles (cero o negativos), que se encuentren en el rango del máximo y mínimo de los valores reales, y que no superen el 10% de datos faltantes.

Por último, se efectuará el proceso de datos faltantes por medio de la fórmula de proporciones normales con una estación.

### **Figura 3**

*Dato Faltante Con Proporciones Normales Con Una Estación*

$$DF = \frac{\frac{\Sigma_2 \text{ del año que falta algún dato}}{\text{PROMEDIO DE } \Sigma_1}}{\frac{1}{\text{Promedio del mes en que falta el dato}} \cdot \frac{1}{\text{promedio } \Sigma_1}}$$

### **Implementación Del Modelo**

Con los datos organizados y depurados se iniciará el proceso de implementación del modelo SWAT (Soil And Water Assessment Tool), mediante la manipulación de la extensión de ArcSWAT. Inicialmente se creará un proyecto, seleccionado el lugar de almacenamiento y la ubicación de los datos, seguido de esto se efectuará el proceso de delimitación de las subcuencas mediante el uso del Modelo Digital de Elevación, posteriormente se introducirá la información de usos del suelo y tipos del suelo, los cuales se reclasificarán de acuerdo a las categorías del programa y se generaran nuevos SHP de esta información, seguido se realizara el cálculo y clasificación de la pendiente de la unidad hidrológica de acuerdo a la categorización del IGAC; con estos datos se crearan y definirán las Unidades de Respuesta Hidrológica. En cuanto a los datos climáticos, se utilizará el motor climático mundial “WGEN\_CFSR\_World”. Y finalmente se realizará la simulación del balance hídrico con todos los datos introducidos al programa.

### **Calibración Del Modelo**

Se emplearán los datos de caudal reales de la Estación Limnográfica Puente Quemado en el periodo de 1985 a 1992 (Cinco años), el proceso de calibración se realizara de acuerdo a la metodología usada por el ingeniero Cabrera en su documento de “Calibración de modelos hidrológicos”, aplicando la ecuación de coeficiente de eficiencia de Nash y Sutcliffe, la cual

muestra la relación que existe entre el caudal observado por el tiempo de simulación, con el caudal simulado por el programa, dividido en el promedio del caudal observado en el periodo tiempo de calibración. El coeficiente de eficiencia de Nash y Sutcliffe debe tener un valor cercano a 0,5 para tener un error satisfactorio de los valores de simulación, un valor de 1 da como resultado una evaluación excelente para el modelo. La calibración se realizará variando los valores de CN en los distintos usos de suelo de la Microcuenca. Si los datos de caudal de la simulación son mayores que los reales, el CN se disminuirá, si son menores, el CN aumentará, esto gradualmente hasta llegar al valor del coeficiente de eficiencia deseado. Si dicho coeficiente no llega al valor deseado con la calibración se modificará el valor de la capacidad de agua disponible para afinar los caudales bases y picos.

#### **Figura 4**

*Coeficiente De Eficiencia De Nash Y Sutcliffe*

$$NSE = 1 - \frac{\sum_{t=1}^T (Q_0^t - Q_m^t)^2}{\sum_{t=1}^T (Q_0^t - \bar{Q}_0)^2}$$

#### ***Simulación Y Análisis De Los Datos Obtenidos***

Posteriormente teniendo los datos organizados y depurados, y el modelo calibrado, se realizará la simulación. Inicialmente se digitará el periodo de simulación 1985 a 2020 (Treinta dos años), luego bajo el módulo hidrológico y seleccionando el método de distribución de la lluvia (Normal), se ajustarán los parámetros necesarios (Calidad del agua de los afluentes, Degradación de la Microcuenca, entre otros). Esta simulación verificara que la información se encuentre geolocalizada al interior de la Microcuenca y se inicia el proceso de creación de bases de datos de salida. Por otra parte, la información será validada con datos tomados en campo por medio de aforos volumétricos durante los meses de octubre y noviembre. Finalmente, con la base



de datos de salida y la implementación del método participativo de Matus se determinarán las zonas de mayor potencialidad hídrica con el fin de generar estrategias apropiadas y eficaces para el manejo sustentable del recurso hídrico en la Microcuenca Sácama.

### **Figura 5**

*Método Participativo De Matus*

$$ZR = [0,27(pend) + 0,23(Ts) + 0,12 (Tr) + 0,25(Cve) + 0,13 (Us)]$$

## Capítulo 5. Ejecución Del Proyecto

### Delimitación De La Microcuenca Sácama

El Geoportal Instituto Geográfico Agustín Codazzi (IGAC) es una herramienta web interactiva que dispone a la ciudadanía diferentes productos de información georreferenciada como mapas de cartografía básica. Esta herramienta permitió la descarga de las planchas 173IIA, 173IIB, 174IA, 153IVC, 153IVD, 154IIIC, pertenecientes al municipio de Sácama Casanare, las cuales contienen la información de curvas de nivel y ríos, que fueron indispensables para la delimitación de la Microcuenca Sácama. Posteriormente haciendo uso del software ArcGIS se inició el proceso de delimitación utilizando una variedad de herramientas descritas a continuación.




La caja de herramientas de ArcGis tiene una serie de herramientas de análisis espacial, que proporcionan una amplia variedad de recursos eficaces para el análisis y el modelado espacial. Para la delimitación de la Microcuenca se utilizó en primer lugar la herramienta Topo To Raster que es un método de interpolación con el cual se creó el DEM (Modelo digital de elevación), luego se eliminaron las imperfecciones como huecos y sumideros del DEM con la herramienta Fill, después se estableció la dirección del flujo hidrológico con la herramienta Flow Direction, en seguida se determinó la acumulación del flujo por medio de la herramienta Flow Accumulation, a continuación se aseguró la selección de puntos de flujo acumulado alto con la herramienta Snap Pour Point, posteriormente con la herramienta Watershed se delimitó la Microcuenca Sácama obteniendo un ráster que se convirtió en un shapefile tipo polígono con la herramienta Ráster To Polygon, obteniéndose como resultado la figura 1.






## **Análisis De Información Climática**

De la plataforma del IDEAM se descargó la información climática mensual de las variables de Caudal, Precipitación y Temperatura, de las de las estaciones Limnográfica Puente Quemado [36027010], Pluviométrica Puente Quemado [36020010], Climática Ordinaria Chita Aut [24035250], Cardon El [35235010] y Tamara Aut [35235050]; esta información se organizó implementando la pestaña de Excel Datos y la herramienta Texto en columnas, una vez organizados se realizó una revisión visual de los datos para que cumplieran lo estipulado en el documento “Calculation of Monthly and Annual 30-Year Standard Normals” de la OMM (Organización Meteorológica Mundial). Posteriormente se verificó que los datos faltantes no superaran el 10% y se calcularon dichos datos por medio de la figura 3, para ello se generó una columna llamada  $\Sigma 1$  que es la suma de los datos de los años en los que no faltan datos, otra columna llamada  $\Sigma 2$  que es la suma de los datos de los años en que faltan datos, adicionalmente se creó una fila con el promedio de cada uno de los meses y de los datos de la columna  $\Sigma 1$ . Por otra parte, para los datos de 2020 de los meses de octubre, noviembre y diciembre, se proyectaron con la función PRONÓSTICO.LINEAL de Excel.

## **Implementación Del Modelo**

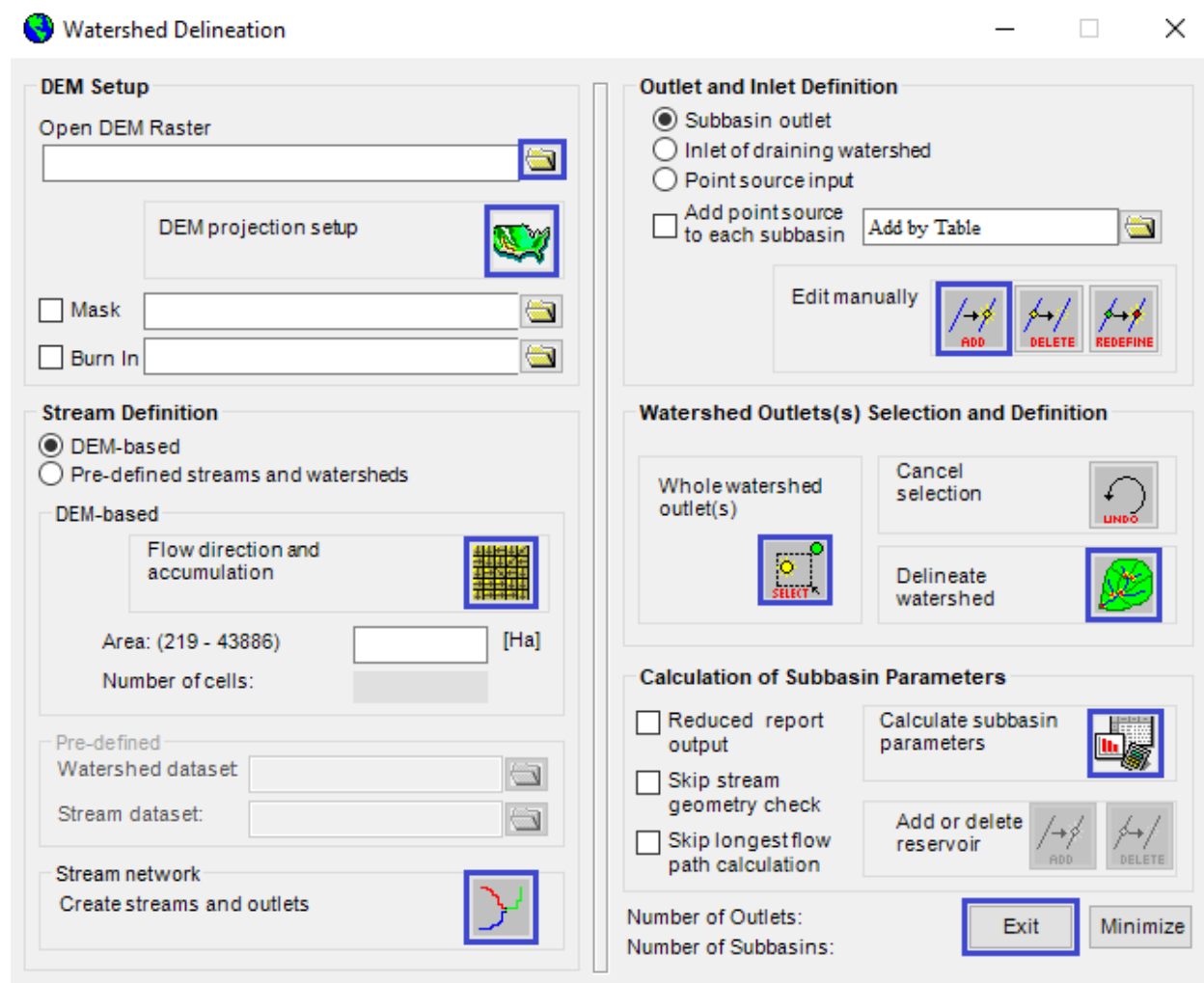
### ***Delimitación De Las Subcuencas***

Para la delimitación de las subcuencas se utilizó la herramienta Watershed Delineation, a partir de la cual se desplegó el cuadro de dialogo de la figura 6. Inicialmente se cargó el DEM (Modelo digital de elevación) en la pestaña Open file , luego se seleccionó el mapa que se encuentra delante de la opción DEM Project Setup , allí se eligió metros para las unidades de Z, después clic en el icono que corresponde a Flow Direction y Accumulation , el cual dibujó la dirección del flujo del DEM (Modelo digital de elevación), seguidamente se dio clic en el icono

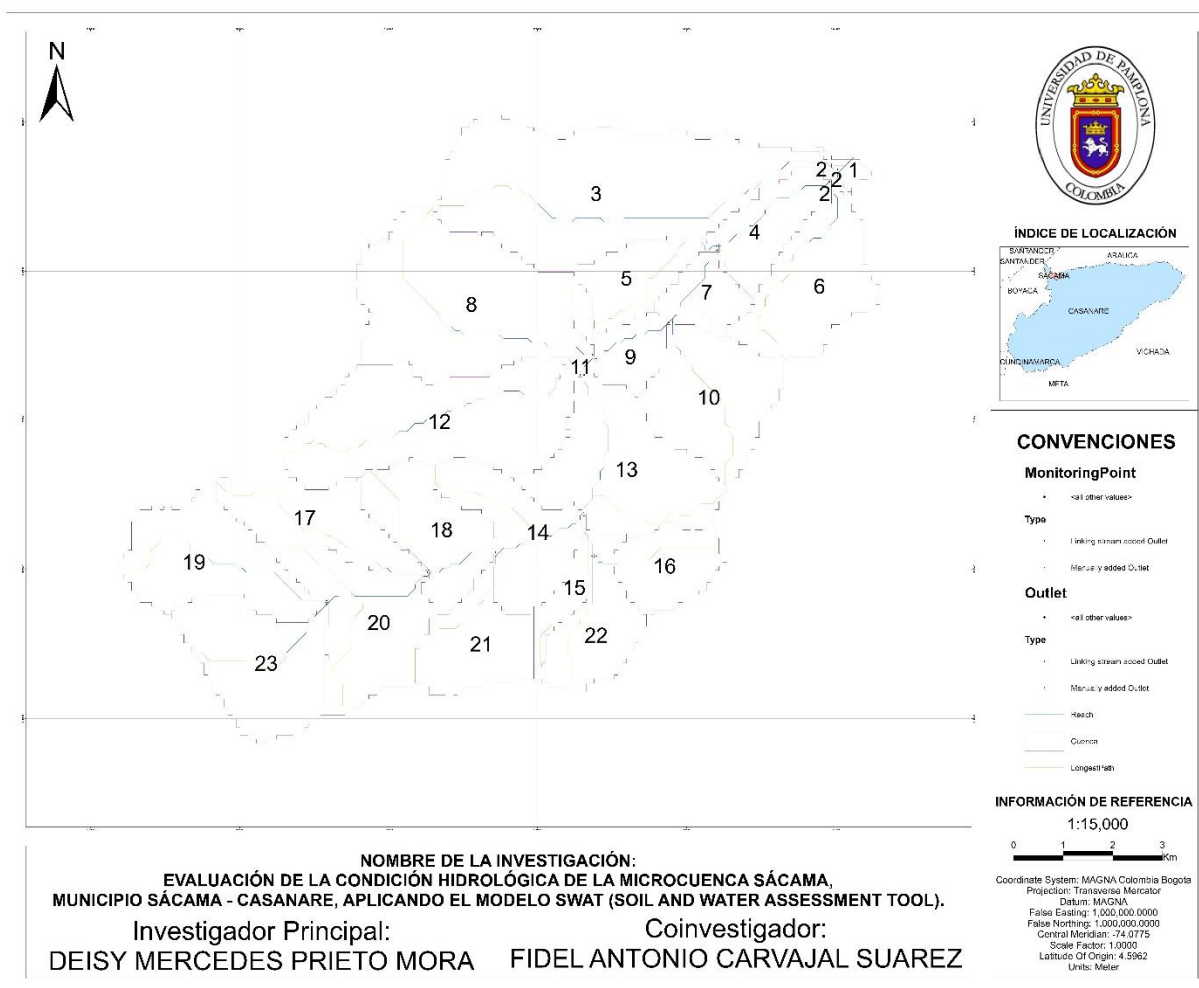
de Stream Network , a continuación se definió el punto de salida con la opción Edit Manually , y se escogió este punto con la opción Select  que se encuentra en el apartado Whole Watershed Outlet, posteriormente se ejecutó Delineate Watershed  y finalmente se realizó el procesamiento de los parámetros geomorfológicos de las subcuencas por medio de la opción Calculate Subbasin Parameters , obteniendo como resultado la figura 7.

## Figura 6

*Cuadro De Dialogo De La Herramienta Wathershed Delineation*



Nota: Esta figura presenta el Cuadro De Dialogo De La Herramienta Wathershed Delineation.

**Figura 7***Mapa De Delimitación De Las Subcuencas De La Microcuenca Sácama*

Nota: Este mapa presenta la delimitación de las subcuencas de la Microcuenca Sácama a una escala 1:15000.

***Introducción De Información Del Suelo.***

El modelo SWAT (Soil And Water Assessment Tool) es una herramienta desarrollada por el Dr., Jeff Arnold del Departamento de Agricultura de los Estados Unidos, debido a que el modelo contiene información estadounidense, se realizó la homologación del uso y tipo de suelo colombiano.

**Homologación Uso Del Suelo.** Para la homologación del uso del suelo se descargó del SIAC (Sistema de Información Ambiental de Colombia), el shapefile de cobertura de la tierra del territorio nacional. Dentro de la tabla de atributos de esta capa se encontró la leyenda que se observa en la tabla 2. Esta leyenda difiere de la clasificación de cobertura del modelo SWAT (Soil And Water Assessment Tool), por lo cual se efectuó la homologación de este parámetro basándose en algunos datos del catálogo de patrones de coberturas de la tierra Colombia, del IDEAM, 2012, donde se clasifica el tejido urbano discontinuo como zona urbanizada o residencial, los pastos limpios o enmalezados como pastos, los diferentes mosaicos como áreas agrícolas heterogéneas, el bosque denso y fragmentado como bosque de hoja perenne o bosque mixto, los herbazales y la vegetación secundaria como hierbas y los ríos como agua, esta homologación se puede observar en la tabla 3. Finalmente, se efectuó una equivalencia de acuerdo a los formatos requeridos por el modelo SWAT (Soil And Water Assessment Tool) como se observa en la figura 8.

## **Tabla 2**

### *Leyenda Shapefile Cobertura De La Tierra*

<b>LEYENDA SHAPEFILE COBERTURA DE LA TIERRA</b>
1.1.2. Tejido urbano discontinuo
2.3.1. Pastos limpios
2.3.3. Pastos enmalezados
2.4.2. Mosaico de pastos y cultivos
2.4.3. Mosaico de cultivos, pastos y espacios naturales
2.4.4. Mosaico de pastos con espacios naturales
3.1.1. Bosque denso
3.1.3. Bosque fragmentado
3.2.1. Herbazal
3.2.3. Vegetación secundaria o en transición
5.1.1. Ríos

Nota: Esta tabla presenta la información de la leyenda del shapefile de la cobertura de la tierra de la Microcuenca Sácama.

**Tabla 3**

*Homologación Cobertura De La Tierra*

<b>LEYENDA SHAPEFILE COBERTURA DE LA TIERRA</b>	<b>LANDUSE</b>	<b>LAND COVER</b>
1.1.2. Tejido urbano discontinuo	<b>UINS</b>	Residencial
2.3.1. Pastos limpios	<b>PAST</b>	Pasture
2.3.3. Pastos enmalezados	<b>PAST</b>	Pasture
2.4.2. Mosaico de pastos y cultivos	<b>AGRC</b>	Agricultural Land-Close-grown
2.4.3. Mosaico de cultivos, pastos y espacios naturales	<b>AGRC</b>	Agricultural Land-Close-grown
2.4.4. Mosaico de pastos con espacios naturales	<b>AGRC</b>	Agricultural Land-Close-grown
3.1.1. Bosque denso	<b>FRST</b>	Forest Mixed
3.1.3. Bosque fragmentado	<b>FRSE</b>	Forest Evergreen
3.2.1. Herbazal	<b>RNGE</b>	Range-Grasses
3.2.3. Vegetación secundaria o en transición	<b>RNGE</b>	Range-Grasses
5.1.1. Ríos	<b>WATR</b>	Water

Nota: Esta tabla presenta la homologación (LANDUSE) de la cobertura de la tierra de la Microcuenca Sácama.

**Figura 8**

*Equivalencia Cobertura De La Tierra*

"VALUE", "LANDUSE"  
 0, RNGE  
 1, PAST  
 2, FRSE  
 3, AGRC  
 4, UINS  
 5, FRST  
 6, WATR

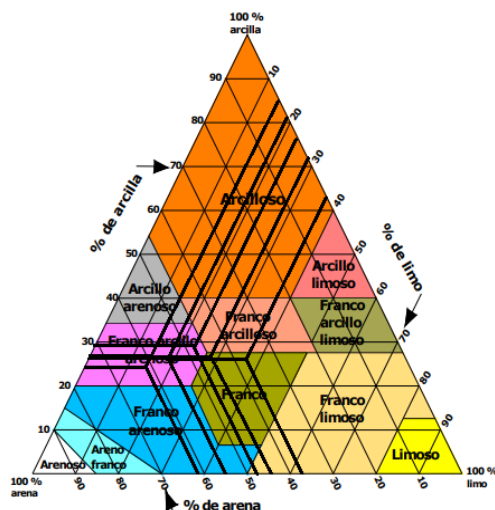
Nota: Esta figura presenta la equivalencia (VALUE) de la homologación (LANDUSE) de la cobertura de la tierra de la Microcuenca Sácama.

**Homologación Tipos De Suelo.** Como se mencionó anteriormente el modelo SWAT (Soil And Water Assessment Tool), solo incluye tipos de suelo de Estados Unidos por lo cual se llevó a cabo la homologación de estos con el tipo de suelos de la FAO (Food and Agriculture Organization of the United Nations), que se representan por la unidad del suelo dominante, seguido por la cifra de la leyenda descriptiva del mapa, luego la clase textural que se clasifica como 1 – textura gruesa, 2 – textura media, 3 – textura fina, y por último el valor de la pendiente que se representa como a - llano (pendiente 0-8%), b - ondulado (pendiente 8-30%) y c - accidentado (pendiente > 30%).

El shapefile del suelo del territorio colombiano se descargó de los datos abiertos de agrología del IGAC (Instituto Geográfico Agustín Codazzi). Dentro de la tabla de atributos de esta capa se encontró un porcentaje de Arena, Limo y Arcilla a partir del cual se buscó la unidad de suelo dominante en el archivo Generalized\_SU\_Info.xls. Después se determinó la textura del suelo con el Triángulo Textural de USDA, figura 9. Posteriormente, en el archivo WORLD764.xls se verificó que los tipos de suelo se encontraran dentro del territorio colombiano y se obtuvo el código correspondiente para el tipo de suelo, como se observa en la tabla 4. Finalmente, se efectuó una equivalencia de acuerdo a los formatos requeridos por el modelo SWAT (Soil And Water Assessment Tool) como se observa en la figura 10.

Por otra parte, cabe mencionar que los archivos Generalized\_SU\_Info.xls y WORLD764.xls se obtuvieron de la carpeta DSWM (Digital Soil Map of the World) que se descargó de la página de la FAO (Food and Agriculture Organization of the United Nations).



**Figura 9***Triángulo Textural De USDA*

Nota: Esta figura presenta los tipos de suelo (Franco “2” y Franco Arcilloso Arenoso “3”) de la Microcuenca Sácama. Adaptado de *Guía Para La Evaluación De La Calidad Y Salud Del Suelo* [Figura], por El Departamento de Agricultura de los Estados Unidos de Norteamérica (USDA), 1999, Google ([https://www.nrcs.usda.gov/Internet/FSE\\_DOCUMENTS/nrcs142p2\\_051913.pdf](https://www.nrcs.usda.gov/Internet/FSE_DOCUMENTS/nrcs142p2_051913.pdf)).

**Tabla 4***Homologación Suelo Del Territorio Colombiano*

sand-silt-clay	Sand %	Silt %	Clay %	UNIDADES DE SUELO FAO	TEXTURA	WORLD764
50-40-10	55.1	19.6	25.4	JE (Fluvisoles éutricos)	3	<b>Je18-3a-5558</b>
40-40-20	38.2	38.4	22.7	BD (Cambisoles districos)	2	<b>Bd9-2b-5406</b>
45-35-20	49.6	22.1	28.3	LO (Luvisoles órticos)	3	<b>Lo4-3a-5612</b>
45-35-20	49.6	22.1	28.3	LO (Luvisoles órticos)	3	<b>Lo4-3a-5612</b>
40-40-20	38.2	38.4	22.7	BD (Cambisoles districos)	2	<b>Bd9-2b-5406</b>
Zona Urbana				ZU (Zona urbana)		<b>Sample-0</b>
Este campo no tiene datos por lo que se asume el tipo de suelo						<b>Bh3-3b-5410</b>
50-40-10	55.1	19.6	25.4	JE (Fluvisoles éutricos)	3	<b>Je18-3a-5558</b>

40-40-20	38.2	38.4	22.7	BD (Cambisoles districos)	2	<b>Bd9-2b-5406</b>
----------	------	------	------	------------------------------	---	--------------------

Nota: Esta tabla presenta la homologación (WORLD764) del suelo del territorio colombiano de la Microcuenca Sácama.

### Figura 10

#### *Equivalencia Suelo Del Territorio Colombiano*

```
"VALUE", "NAME"
0, Sample-0
5406, Bd9-2b-5406
5410, Bh3-3b-5410
5558, Je18-3a-5558
5612, Lo4-3a-5612
```

Nota: Esta figura presenta la equivalencia (VALUE) de la homologación (WORLD764) del suelo del territorio colombiano de la Microcuenca Sácama.

**Ejecución Herramienta Land Use/Soils/Slope Definition.** En la primera sección de esta herramienta se seleccionó la ubicación de la capa del uso del suelo, luego se eligió la columna de la tabla de atributos que contiene la información del uso del suelo reclasificada, después en la opción Choose Grid Field se escogió Value, en seguida, se utilizó LookUp Table para introducir la equivalencia de la figura 8, finalmente se dio clic en Reclassify y se obtuvo como resultado la figura 11.

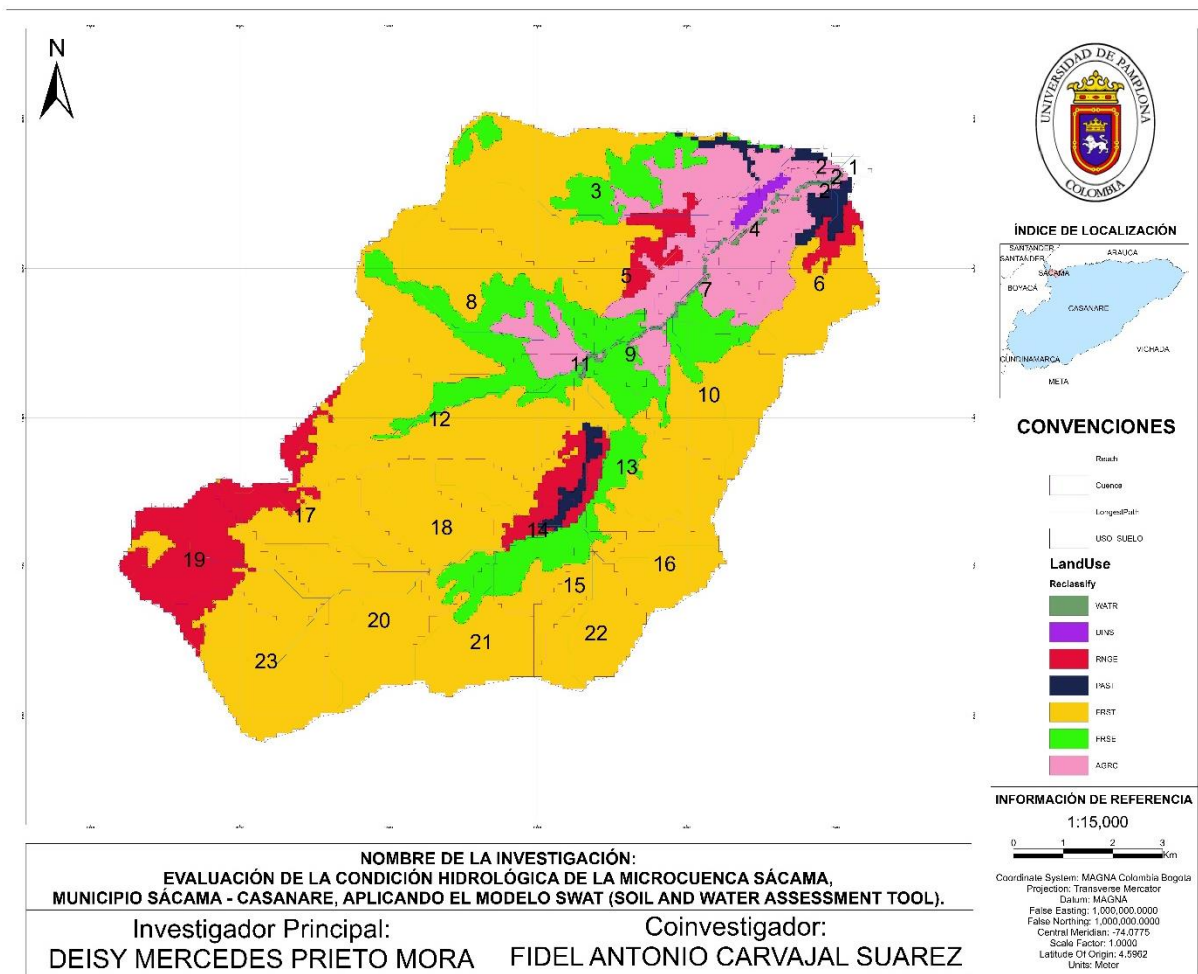
En la segunda sección de esta herramienta se realizó el procedimiento anterior hasta la opción Value, adicionalmente a esto se seleccionó UserSoil para que al introducir la equivalencia de la figura 10, esta no arrojara ningún error, y finalmente se dio clic en Reclassify y se obtuvo como resultado la figura 12.

En la última sección se realizó la reclasificación de la pendiente en donde se seleccionó Multiple Slope, luego se eligió el número de clases de pendiente máximo (5) y en las opciones

Current Slope Class y Class Upper Limit (%), se estableció según criterios del modelo SWAT (Soil And Water Assessment Tool) los valores de reclasificación de la pendiente, obteniendo como resultado la figura 13.

### Figura 11

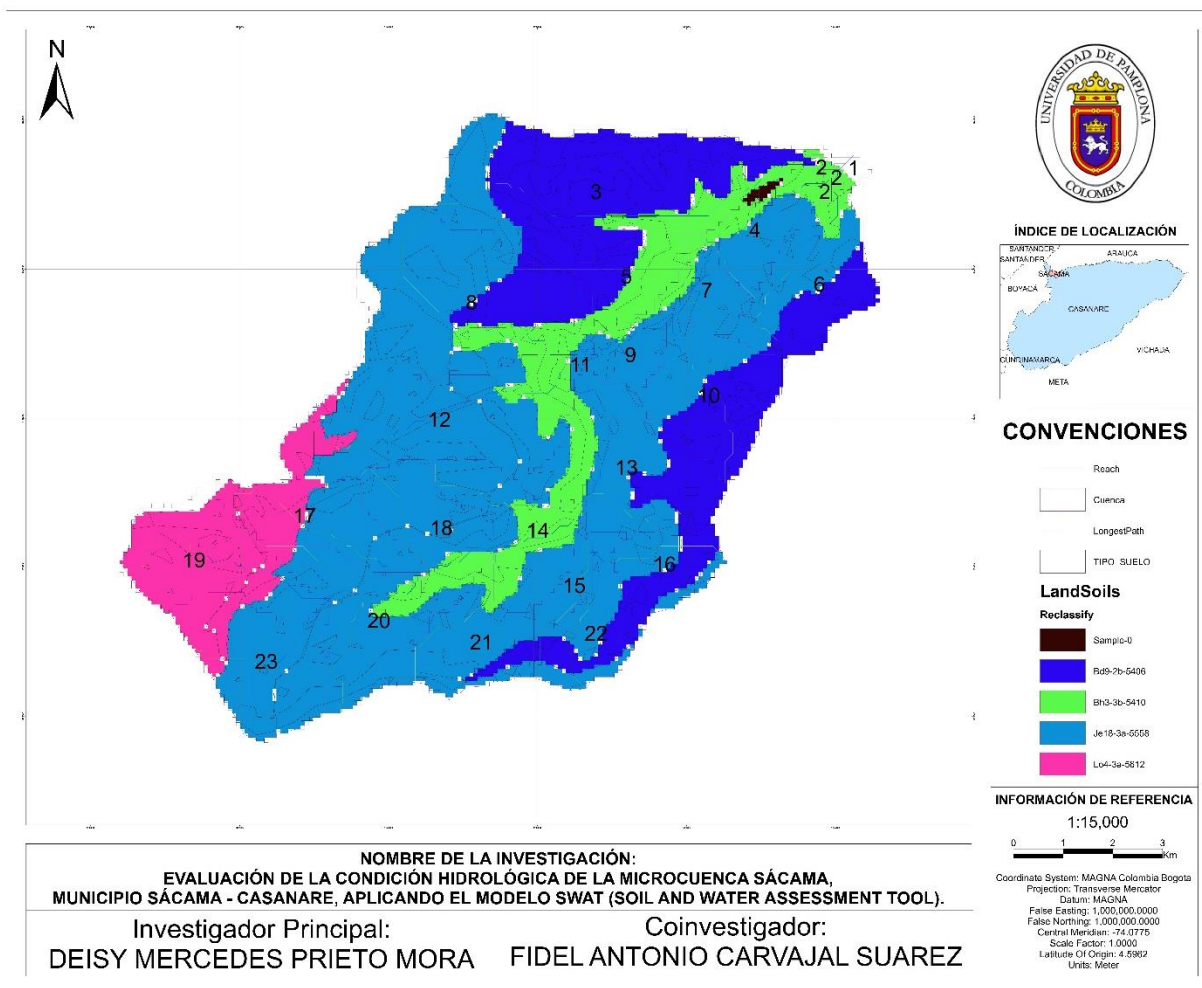
#### Mapa De Reclasificación Del Uso Del Suelo De La Microcuenca Sácama



Nota: Este mapa presenta la Reclasificación del Uso del Suelo De La Microcuenca Sácama a una escala 1:15000.

Figura 12

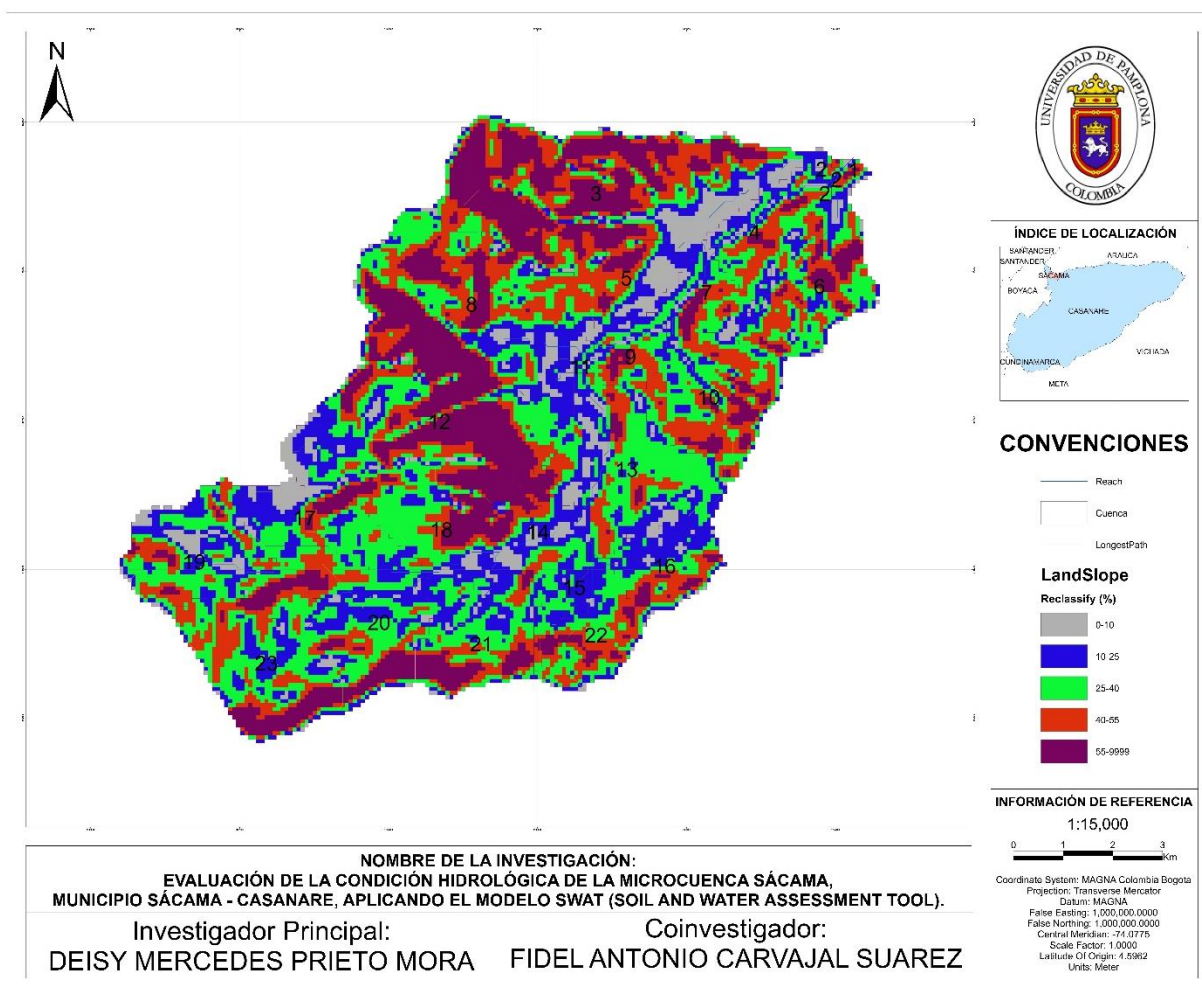
## Mapa De Reclasificación Del Tipo De Suelo De La Microcuenca Sácama



Nota: Este mapa presenta la Reclasificación del Tipo de Suelo De La Microcuenca Sácama a una escala 1:15000.

Figura 13

*Mapa De Reclasificación De La Pendiente De La Microcuenca Sácama*



Nota: Este mapa presenta la Reclasificación De La Pendiente De La Microcuenca Sácama a una escala 1:15000.

***Generación De Unidades De Respuesta Hidrológica***

Las URH (Unidades de respuesta hidrológica) se definen como áreas de la microcuenca que son homogéneas respecto a la respuesta hidrológica y características geo-climáticas. Se conforman por áreas dispersas, desconectadas entre sí pero que mantienen propiedades hidrológicas comunes relacionando elevación, uso de cobertura vegetal, tipo de suelo, pendiente

y otros (Hernández Guerra, 2015). En esta investigación la generación de las URH (Unidades de respuesta hidrológica) se realizó con la herramienta HRU Definition en la cual se activó la opción Write HRU Report, los demás parámetros se dejaron por defecto y finalmente se dio clic en Create HRUs, obteniéndose como resultado 484 unidades de respuesta hidrológica.

### ***Importación Base De Datos Meteorológica Global***

La base de datos CFSR\_World contiene datos meteorológicos mensuales que cubren todo el mundo, dicha base esta comprimida en un archivo llamado "CFSR\_World.zip", dentro de esta base datos hay un archivo Access que contiene una tabla llamada "WGEN\_CFSR\_World", siendo oportuno importar esta tabla para el correcto funcionamiento del modelo SWAT (Soil And Water Assessment Tool).

La importación de esta base de datos se realizó de la siguiente manera: inicialmente se descargó la base de datos del sitio web de SWAT (Soil And Water Assessment Tool), luego se descomprimió el archivo para obtener la base de datos. Por otra parte, se abrió el archivo "ArcSWAT\_WeatherDatabase.mdb" que se ubicó en la extensión "C: \ SWAT \ ArcSWAT \ Databases \ ArcSWAT\_WeatherDatabase.mdb", allí a partir de la pestaña Datos externos y la herramienta Nuevo origen de datos se importó la base de datos "WGEN\_CFSR\_World",

### ***Generación Del Número De Curva***

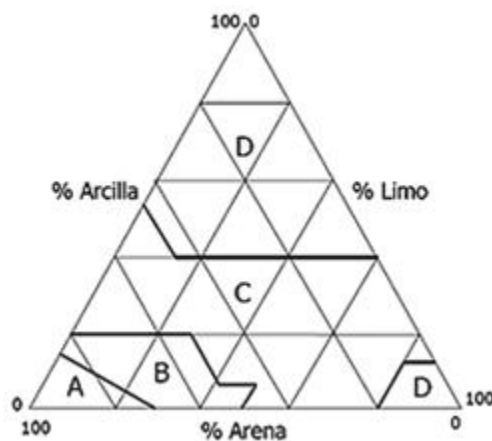
Para la generación del número de curva por el método de curva del SCS (Soil Conservation Service), se instaló la extensión HEC-GeoHMS de ArcGis.

Inicialmente se determinó que el grupo hidrológico del suelo (C) de acuerdo a la figura 14. Luego se efectuó la reclasificación del uso del suelo, en donde a todo lo que es agua se le dio una calificación de "1", a la cobertura relacionada con medio residencial una calificación de "2", a los bosques una calificación de "3" y a los cultivos una calificación de "4". Esta reclasificación

se puede observar en la tabla 5, posteriormente se combinó la clasificación del grupo hidrológico y uso del suelo en la misma tabla de atributos, a esta se le adicionaron los campos PctA, PctB, PctC, PctD, y se digitó el valor correspondiente al grupo hidrológico, como se observa en la tabla 6, además, se creó la base de datos estándar de CN denominada NCLookUp que se muestra en la figura 15. Adicionalmente, se perfecciono el modelo digital de elevación utilizando la herramienta Fill Sinks, una vez finalizado este proceso se prosiguió con la determinación del número de curva con la herramienta Generate CN Grid, obteniéndose como resultado la figura 16. Por otra parte, con la herramienta Edit SWAT Input se seleccionó la opción Subbasins Data donde se verificó que cada subcuenca tuviera su número de curva correspondiente.

#### Figura 14

*Diagrama Para La Determinación Del Tipo De Suelo (Método Del Número De Curva)*



Nota: Esta figura presenta el grupo hidrológico (C) de los tipos de suelo de la Microcuenca Sácama. Adaptado de *Infiltración Y Grupos Hidrológicos De Suelos* [Figura], por J. Mongil & J. Navarro, 2012, Google (<https://dialnet.unirioja.es/descarga/articulo/4002930.pdf>).

**Tabla 5***Reclasificación Cobertura De La Tierra*

LEYENDA SHAPEFILE COBERTURA DE LA TIERRA	RECLASIFICACIÓN	
	NÚMERO	DESCRIPCIÓN
5.1.1. Ríos	1	Agua
1.1.2. Tejido urbano discontinuo	2	Residencial Media
3.1.1. Bosque denso	3	Bosque
3.1.3. Bosque fragmentado	3	
3.2.3. Vegetación secundaria o en transición	3	
3.2.1. Herbazal	4	
2.3.1. Pastos limpios	4	Agricultura
2.3.3. Pastos enmalezados	4	
2.4.2. Mosaico de pastos y cultivos	4	
2.4.3. Mosaico de cultivos, pastos y espacios naturales	4	
2.4.4. Mosaico de pastos con espacios naturales	4	

Nota: Esta tabla presenta la reclasificación (NÚMERO) de la cobertura de la tierra de la Microcuenca Sácama, de acuerdo a la metodología del número de curva por el método de curva del SCS (Soil Conservation Service)

**Tabla 6***Atributos Del Número De Curva*

LEYENDA SHAPEFILE COBERTURA DE LA TIERRA	LUcode	Landuse	PctA	PctB	PctC	PctD
5.1.1. Ríos	C	1	0	0	100	0
1.1.2. Tejido urbano discontinuo	C	2	0	0	100	0
3.1.1. Bosque denso	C	3	0	0	100	0
3.1.3. Bosque fragmentado	C	3	0	0	100	0
3.2.3. Vegetación secundaria o en transición	C	3	0	0	100	0
3.2.1. Herbazal	C	4	0	0	100	0
2.3.1. Pastos limpios	C	4	0	0	100	0
2.3.3. Pastos enmalezados	C	4	0	0	100	0
2.4.2. Mosaico de pastos y cultivos	C	4	0	0	100	0
2.4.3. Mosaico de cultivos, pastos y espacios naturales	C	4	0	0	100	0
2.4.4. Mosaico de pastos con espacios naturales	C	4	0	0	100	0



Nota: Esta tabla presenta los atributos del número de curva de la Microcuenca Sácama.

### Figura 15

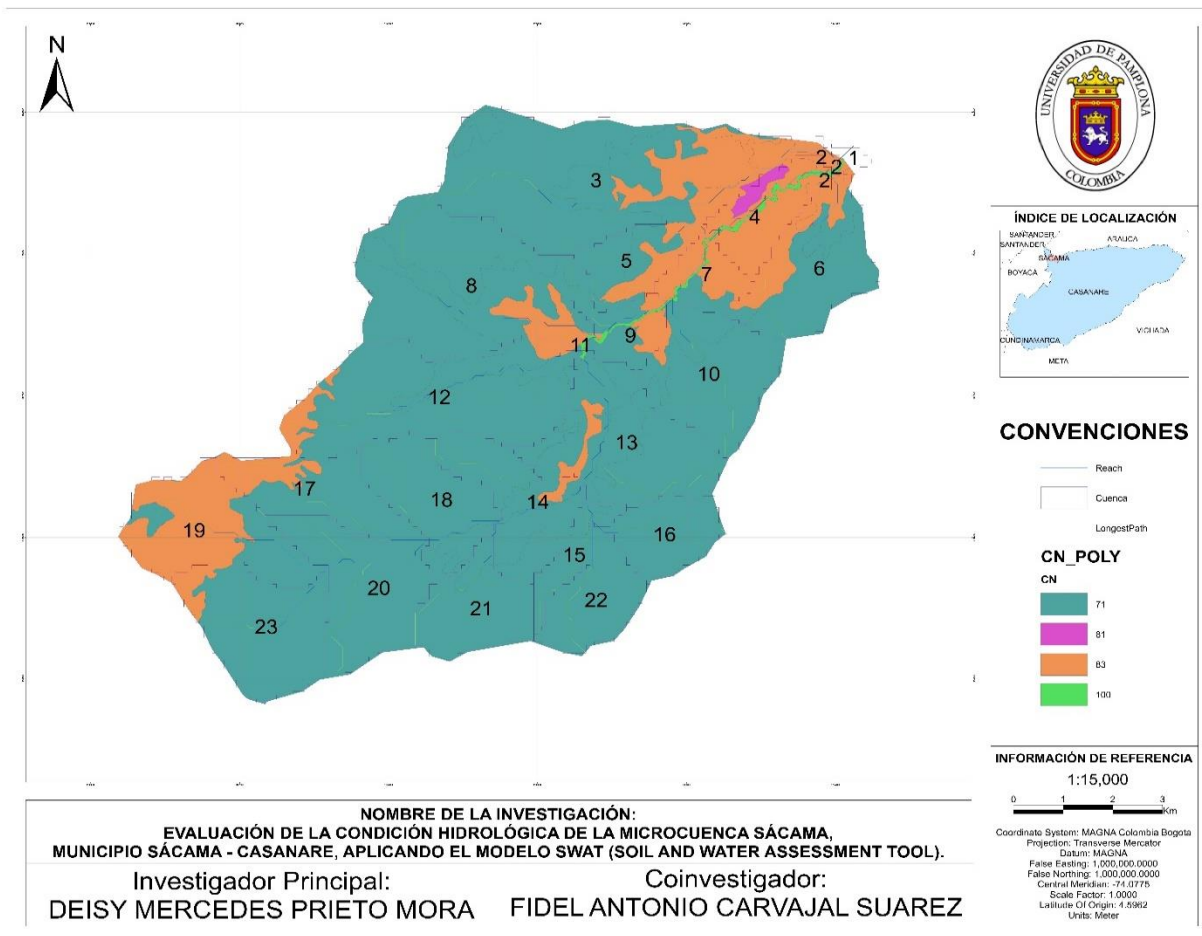
Base De Datos Estándar De CN "Nlookup"

LUvalue	Description	A	B	C	D
1	Water	100	100	100	100
2	Medium Residential	57	72	81	86
3	Forest	30	58	71	78
4	Agricultural	67	77	83	87

Nota: Esta figura presenta la base de datos estándar de número de curva.

### Figura 16

Mapa De Número De Curva De La Microcuenca Sácama



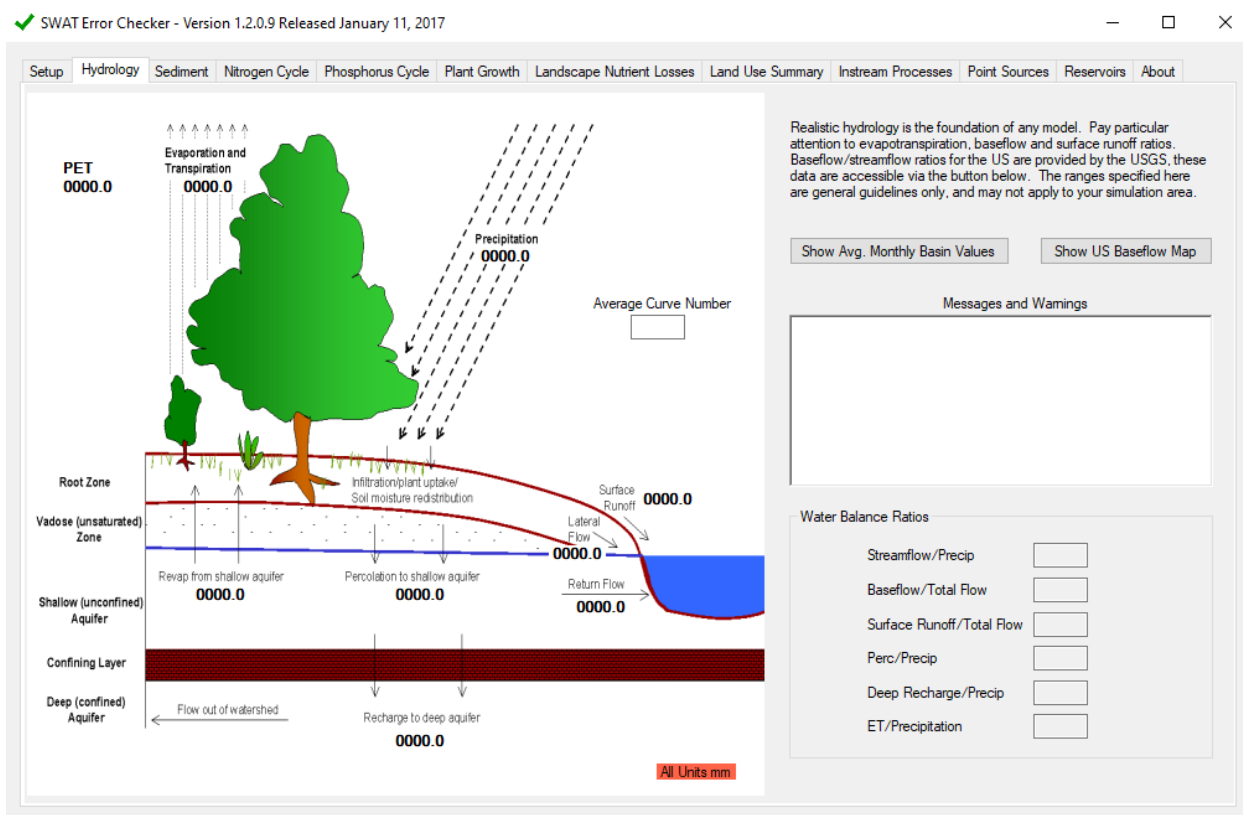
Nota: Este mapa presenta el Número De Curva De La Microcuenca Sácama a una escala 1:15000.

### Visualización De La Herramienta Del Balance Hídrico

La visualización del cuadro de dialogo de la herramienta del balance hídrico de la figura 17, se realizó utilizando la siguiente ruta: SWAT Simulation > Read SWAT Output > Run SWAT Check > Hydrology.

**Figura 17**

### Cuadro De Dialogo De La Herramienta Del Balance Hídrico



Nota: Esta figura presenta el Cuadro De Dialogo De La Herramienta Del Balance Hídrico.

### Calibración Del Modelo

La calibración del modelo se realizó con SWAT-CUP (SWAT Calibration and Uncertainty Procedures) que es un programa diseñado para integrar varios análisis de

incertidumbre / calibración para SWAT (Soil And Water Assessment Tool) utilizando la misma interfaz.

En SWAT-CUP (SWAT Calibration and Uncertainty Procedures) se creó un nuevo proyecto, seleccionando la versión 2012 y un procesador de 64 bit. En la pantalla Project Explorer herramienta Calibration Inputs, opción Par\_Inf.txt se digitó el número de simulaciones (1), luego en la herramienta Observation, opción Observed\_rch.txt se copiaron los valores de los caudales reales de la Estación Limnográfica Puente Quemado del periodo de 1985 a 1992 (Cinco años), después en la herramienta Extraction opción SUFI2\_extract\_rch.def se seleccionó 2 para simulación mensual, posteriormente en la herramienta Objective Function opción Observed.txt se escogió 5 para el coeficiente NS, y finalmente se dio clic en Calibrate.

### **Simulación Del Modelo**

Para la simulación se utilizó la herramienta SWAT Simulation opción Run SWAT, en donde inicialmente se digitó el periodo de simulación 1985 a 2020 (Treinta dos años), luego bajo el módulo hidrológico se seleccionó el método de distribución de la lluvia (Normal), después en la parte de configuración de impresión se elijo mensual y posteriormente para terminar la configuración SWAT (Soil And Water Assessment Tool) se dio clic en Setup SWAT Run, y finalmente se realizó la simulación con la opción Run SWAT.

### **Determinación De Zonas De Potencialidad Hídrica**

La determinación de las zonas potenciales de recarga hídrica se realizó evaluando los elementos biofísicos de Pendiente, Tipo de suelo, Tipo de roca, Cobertura vegetal y Uso del suelo; utilizando el método participativo de Matus de la figura 5. Este método asigna una ponderación para cada elemento que va de 1 a 5, donde 1 corresponde a la característica menos favorables para que ocurra la recarga hídrica.

A continuación, se detallan las ponderaciones del método para los elementos biofísicos de la Microcuenca Sácama.

**Tabla 7**

*Ponderación de la posibilidad de recarga hídrica según el tipo de pendiente*

Microrelieve	Pendiente (%)	Posibilidad De Recarga	Ponderación
Plano O Casi Plano, Con O Sin Rugosidad	0 – 6	Muy Alta	5
Moderadamente Ondulado O Cóncavo	6 – 15	Alta	4
Ondulado / Cóncavo	15 – 45	Moderada	3
Escarpado	45 – 65	Baja	2
Fuertemente Escarpado	>65	Muy Baja	1

Nota: Esta tabla presenta la ponderación de la recarga hídrica según el tipo de pendiente. Esta clasificación de pendiente se realizó para la Microcuenca Sácama. Adaptado de la *Guía Para La Identificación Participativa De Zonas Con Potencial De Recarga Hídrica* [Tabla], por O. Matus, J. Faustino, F. Jiménez, 2009, Google

(<https://www.catie.ac.cr/attachments/article/542/Guia%20Identificacion%20ZRHidrica.pdf>).

**Tabla 8**

*Ponderación De La Capacidad De Recarga Hídrica Del Suelo Según Su Textura*

Textura	Posibilidad De Recarga	Ponderación
Suelo francos arenosos a arenosos, con tamaño de agregado o partículas de gruesos a medios, con muy rápida capacidad de infiltración (más de 25 cm/h)	Muy Alta	5
Suelos francos, con partes iguales de arena, limo y arcilla, con rápida capacidad de infiltración (12,7 – 25 cm/h)	Alta	4

Suelos franco limosos, con partículas de tamaño medio a finas, con moderada a moderadamente rápida capacidad de infiltración (2 – 12,7 cm/h)	Moderada	3
Suelos franco arcillosos, combinación de limo y arcilla, con partículas finas, suelos pesados, con muestras de compactación, con lenta a moderadamente lenta capacidad de infiltración (0,13 – 2 cm/h)	Baja	2
Suelos arcillosos, muy pesados, con partículas muy finas, compactados, con muy lenta capacidad de infiltración (menos de 0,13 cm/h)	Muy Baja	1

Nota: Esta tabla presenta la capacidad de recarga hídrica del suelo según su textura. Para la Microcuenca Sácama, se estableció una ponderación de “4” para la textura Franco y “2” para Franco Arcilloso Arenoso. Adaptado de la *Guía Para La Identificación Participativa De Zonas Con Potencial De Recarga Hídrica* [Tabla], por O. Matus, J. Faustino, F. Jiménez, 2009, Google (<https://www.catie.ac.cr/attachments/article/542/Guia%20Identificacion%20ZRHidrica.pdf>).

### Tabla 9

#### *Ponderación De La Posibilidad De Recarga Hídrica Según El Tipo De Roca*

Rocas	Posibilidad De Recarga	Ponderación
Rocas muy permeables, muy suaves, constituidas por cristales o agregados gruesos, con macroporos interconectados; por ejemplo, arena gruesa, piedra pómez, grava o cascajo	Muy Alta	5
Rocas permeables, suaves, constituidas por cristales o agregados medianos, con poros interconectados; por ejemplo, arena fina o arenisca con poca cementación	Alta	4
Rocas moderadamente permeables, semisuaves, con regular conexión de poros	Moderada	3
Rocas poco permeables, un poco duras, moderadamente compactadas, constituidas por partículas finas, con presencia de fracturas interconectadas; por ejemplo, la combinación de gravas con arcillas	Baja	2

Rocas impermeables, duras, cementadas, compactadas, constituidas por partículas muy finas, sin presencia de fracturas	Muy Baja	1
---	----------	---

Nota: Esta tabla presenta la ponderación de la recarga hídrica según el tipo de roca. Para la Microcuenca Sácama, se asignó una ponderación de “4” para las Areniscas, “2” para Areniscas, Arcillolitas, Lutitas, Materiales arcilloso, lutitas, areniscas, Materiales de origen coluvial heterométrico con matriz gruesa y “1” para Zona Urbana. Adaptado de la *Guía Para La Identificación Participativa De Zonas Con Potencial De Recarga Hídrica* [Tabla], por O. Matus, J. Faustino, F. Jiménez, 2009, Google (<https://www.catie.ac.cr/attachments/article/542/Guia%20Identificacion%20ZRHidrica.pdf>).

#### Tabla 10

*Ponderación De La Posibilidad De Recarga Hídrica Según El Porcentaje De Cobertura Vegetal*

Cobertura Vegetal	Posibilidad De Recarga	Ponderación
>80	Muy Alta	5
70 – 80	Alta	4
50 – 70	Moderada	3
30 – 50	Baja	2
<30	Muy Baja	1

Nota: Esta tabla presenta la ponderación de la recarga hídrica según el porcentaje de cobertura vegetal. Para la Microcuenca Sácama, se determinó el porcentaje de cada cobertura vegetal según el área de cada subcuenca. Adaptado de la *Guía Para La Identificación Participativa De Zonas Con Potencial De Recarga Hídrica* [Tabla], por O. Matus, J. Faustino, F. Jiménez, 2009, Google (<https://www.catie.ac.cr/attachments/article/542/Guia%20Identificacion%20ZRHidrica.pdf>).

**Tabla 11***Ponderación De La Posibilidad De Recarga Hídrica Según El Uso Del Suelo*

Uso Del Suelo	Posibilidad De Recarga	Ponderación
Bosque donde se dan los tres estratos: árboles, arbustos y hierbas o zacate denso	Muy Alta	5
Sistemas agroforestales o silvopastoriles	Alta	4
Terrenos cultivados y con obras de conservación de suelo y agua	Moderada	3
Terrenos cultivados sin ninguna obra de conservación de suelo y agua	Baja	2
Terrenos agropecuarios con manejo intensivo	Muy Baja	1

Nota: Esta tabla presenta la ponderación de la recarga hídrica según el uso del suelo. Para la Microcuenca Sácama, se estableció una ponderación de “5” para Bosque denso, fragmentado, mosaico de pastos con espacios naturales, “3# para Pastos limpios, “0” para Ríos ya que esta tabla no presenta ninguna clasificación para este parámetro y “2” para los demás usos del suelo.

Adaptado de la *Guía Para La Identificación Participativa De Zonas Con Potencial De Recarga Hídrica* [Tabla], por O. Matus, J. Faustino, F. Jiménez, 2009, Google

(<https://www.catie.ac.cr/attachments/article/542/Guia%20Identificacion%20ZRHidrica.pdf>).

## Capítulo 6. Resultados Y Análisis

### Bases De Datos

Como se mencionó en el capítulo 5 implementación del modelo, apartado de análisis de información climática se organizaron y depuraron las bases de datos mensuales de las variables de Caudal, Precipitación y Temperatura, de las estaciones Limnigráfica Puente Quemado [36027010], Pluviométrica Puente Quemado [36020010], Climática Ordinaria Chita Aut [24035250], Cardon El [35235010] y Tamara Aut [35235050], como se muestra a continuación:

**Tabla 12**

*Datos De Caudal Mensual Multianual De La Estación Limnigráfica Puente Quemado [36027010]*

	EN	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEPT	OCT	NOV	DIC	SUMA 1	SUMA 2
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12		
<b>1985</b>	13.29	12.66	15.05	17.07	34.49	87.52	78.23	99.84	75.57	56.62	41.98	31.31	563.63	
<b>1986</b>	20.00	18.68	25.81	44.13	60.84	38.82	17.84	48.42	31.60	61.32	51.93	25.45	444.84	
<b>1988</b>	21.30	17.26	16.00	27.05	50.28	55.15	19.83	67.33	77.73	75.67	57.77	33.00	518.37	
<b>1991</b>	12.95	11.48	12.64	15.87	39.77	25.15	47.50	31.26	29.90	29.39	72.04	45.64		349.16
<b>1992</b>	15.95	14.14	15.21	23.19	36.45	51.35	48.59	52.75	37.20	65.75	81.36	56.77		430.22
<b>PROMEDIO</b>	18.20	16.20	17.38	26.03	44.37	54.79	42.40	59.92	50.40	57.75	61.02	38.43	508.95	

Nota: Esta tabla presenta la información de caudal mensual multianual de la estación limnigráfica Puente Quemado de los años 1985 a 1992, en donde, los datos en color rojo son datos faltantes hallados con la ecuación 1, que representan el 10% del total de los datos.



**Tabla 13**

*Datos De Precipitación Mensual Multianual De La Estación Pluviométrica Puente Quemado [36020010]*

	EN	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEPT	OCT	NOV	DIC	SUMA 1	SUMA 2
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12		
<b>1984</b>	24.88	23.53	73.5	19.77	12.35	32.11	15.33	35.38	31.69	36.20	49.10	70.70		309.06
<b>1985</b>	7.90	33.12	11.70	31.20	19.10	72.99	66.81	17.51	91.83	54.48	36.82	24.60		434.94
<b>1986</b>	4.90	2.50	21.82	11.90	17.52	48.93	72.92	45.87	54.55	31.53	46.35	22.54	381.33	
<b>1987</b>	13.98	97.42	70.78	92.30	29.50	35.40	41.51	56.25	40.25	49.71	46.94	27.12	601.16	
<b>1988</b>	71.50	30.43	10.40	26.08	25.50	65.98	69.53	45.75	76.20	35.38	54.40	33.14		399.59
<b>1989</b>	33.65	53.50	87.15	24.43	20.88	68.52	35.56	26.82	35.58	19.71	28.87	17.03		418.05
<b>1990</b>	24.82	59.70	14.50	39.74	34.47	38.40	36.42	57.42	37.14	25.53	34.53	24.95	427.62	
<b>1991</b>	89.20	33.94	11.32	66.20	16.26	57.90	34.14	52.70	37.91	47.06	33.07	36.97		445.76
<b>1992</b>	33.99	5.60	84.98	31.42	29.51	40.88	41.59	59.88	39.46	12.63	47.13	29.20		422.28
<b>1993</b>	39.50	84.86	42.14	24.40	54.59	82.34	42.47	44.17	31.11	38.19	70.50	53.61	607.88	
<b>1994</b>	15.76	34.40	22.23	29.25	38.32	84.92	60.02	61.98	50.23	30.34	27.88	25.71	481.04	
<b>1995</b>	10.14	57.00	25.40	18.40	45.56	69.41	75.08	38.59	34.56	29.85	45.68	15.79		337.06
<b>1996</b>	56.50	82.67	15.39	11.91	33.58	36.27	41.84	35.28	44.81	38.70	71.90	51.66		437.00
<b>1997</b>	29.73	24.04	25.70	17.20	31.10	44.00	45.30	70.88	34.16	48.65	37.59	13.23	421.58	
<b>1998</b>	41.63	19.83	11.62	30.02	46.63	79.07	66.07	72.97	50.60	35.94	55.49	49.00		517.24
<b>1999</b>	22.87	12.93	34.80	17.72	45.64	42.61	41.74	45.38	24.80	54.59	44.20	49.00	436.28	
<b>2000</b>	25.20	84.92	11.05	22.45	51.00	72.50	71.70	72.79	65.63	71.09	93.68	58.37	700.38	
<b>2001</b>	14.13	39.10	38.70	78.00	44.96	10.20	83.48	94.57	92.19	72.74	11.18	12.11		513.56
<b>2002</b>	75.90	4.30	37.34	63.57	11.41	12.60	12.08	63.49	10.24	84.80	80.91	76.20		495.50
<b>2003</b>	12.20	37.16	10.47	28.88	49.08	95.63	11.59	31.13	73.44	77.69	68.62	29.33		488.06
<b>2004</b>	32.39	30.63	30.32	29.79	65.65	41.06	33.49	48.86	39.75	47.37	71.89	54.27		402.34
<b>2005</b>	38.58	48.29	37.00	12.29	69.37	13.10	10.30	48.97	61.99	36.41	42.29	22.44	441.03	
<b>2006</b>	44.33	33.16	76.54	11.42	37.32	58.94	54.04	52.38	49.44	42.51	66.72	30.99	557.79	

<b>2007</b>	75.00	15.00	20.00	35.40	20.88	16.15	26.56	33.81	37.55	17.72	31.63	11.50	341.20
<b>2008</b>	23.25	3.70	15.20	47.46	15.07	23.39	39.56	32.02	46.82	30.39	35.21	23.95	288.82
<b>2009</b>	35.98	75.07	56.93	10.38	20.82	41.48	30.56	38.71	36.26	27.97	20.43	88.40	447.01
<b>2010</b>	5.00	29.05	1.50	40.39	39.99	35.30	36.57	50.76	20.77	33.96	99.10	18.16	381.50
<b>2011</b>	28.89	5.10	8.10	51.60	25.97	35.53	42.03	99.07	12.12	52.00	14.65	12.74	358.91
<b>2012</b>	14.84	9.70	84.67	15.03	45.22	38.39	27.47	37.82	23.90	17.39	19.42	79.30	413.15
<b>2013</b>	64.00	29.86	51.50	15.65	27.86	14.38	14.28	10.86	64.08	43.20	41.71	44.59	392.11
<b>2014</b>	77.60	5.00	3.50	83.71	54.74	16.07	14.36	20.83	76.24	19.63	96.10	77.60	545.38
<b>2015</b>	71.60	22.84	88.17	11.40	29.08	38.12	11.91	87.43	49.30	13.96	89.27	18.31	531.39
<b>2016</b>	14.38	19.77	2.80	73.64	30.02	25.32	18.72	25.73	27.94	23.00	16.66	24.49	259.70
<b>2017</b>	11.15	31.51	69.05	30.91	25.94	38.04	42.48	46.26	19.20	33.30	25.67	20.14	393.65
<b>2018</b>	46.23	13.06	12.60	25.44	28.31	36.23	31.24	53.94	34.81	18.14	55.58	29.49	355.58
<b>2019</b>	9.22	7.40	2.00	22.23	23.29	28.89	30.76	13.12	11.75	10.15	12.82	9.50	114.57
<b>PROMEDIO</b>	36.18	34.37	34.03	33.48	33.79	44.20	39.71	49.89	45.17	39.51	48.89	37.20	485.70

Nota: Esta tabla presenta la información de precipitación mensual multianual de la estación pluviométrica Puente Quemado de los años 1984 a 2019, en donde, los datos en color rojo son datos faltantes hallados con la ecuación 1, que representan el 10% del total de los datos.

**Tabla 14**

*Datos De Precipitación Mensual Multianual De La Estación Climática Ordinaria Chita Aut [24035250]*

	EN	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEPT	OCT	NOV	DIC	SUMA 1	SUMA 2
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12		
<b>1984</b>	25.70	14.00	11.90	66.00	13.28	11.02	81.05	12.54	89.26	11.61	80.91	97.72	514.99	

<b>1985</b>	38.58	21.30	10.90	48.50	42.15	61.00	41.25	67.36	83.72	76.07	45.75	49.05	448.68
<b>1987</b>	50.22	4.00	32.90	48.90	12.78	97.36	86.28	20.18	87.74	85.04	17.67	13.70	506.55
<b>1988</b>	35.43	20.90	5.20	10.08	65.21	71.53	93.69	18.55	13.08	14.44	17.09	14.64	358.94
<b>1989</b>	52.60	5.00	31.80	16.47	34.80	12.36	12.57	14.34	76.43	77.12	64.37	43.14	441.00
<b>1990</b>	54.15	3.60	30.70	67.00	22.54	11.97	14.09	12.93	15.94	65.27	15.35	92.05	405.59
<b>1991</b>	48.29	2.00	25.20	98.90	44.60	54.15	65.47	19.29	18.82	95.02	48.40	13.05	533.19
<b>1992</b>	19.03	80.99	12.30	6.20	63.40	50.50	95.70	22.73	17.27	81.30	26.90	21.13	497.45
<b>1993</b>	65.46	24.59	63.04	5,6	15.54	25.82	15.38	17.51	74.78	84.56	40.09	18.12	444.89
<b>1994</b>	9.15	60.08	34.19	45.29	69.69	13.91	12.65	21.44	16.85	12.98	95.96	67.33	459.52
<b>1995</b>	6.20	8.90	15.30	64.50	92.00	57.30	13.95	12.53	13.89	54.05	11.92	22.57	373.11
<b>1996</b>	12.09	22.60	44.60	92.12	63.36	10.35	11.57	17.78	11.48	42.77	11.31	73.53	413.56
<b>1997</b>	21.97	32.50	12.00	21.60	29.70	89.30	11.49	24.03	12.87	46.94	83.14	24.98	410.52
<b>1998</b>	36.21	13.80	38.00	60.21	10.31	20.79	18.87	12.46	87.45	84.63	57.38	89.80	529.91
<b>1999</b>	40.94	95.60	36.68	37.82	16.28	67.08	10.68	18.39	11.94	19.74	88.18	10.54	412.93
<b>2000</b>	28.75	26.57	65.13	64.20	72.50	12.69	10.40	95.60	13.40	14.26	79.38	85.54	568.42
<b>2001</b>	60.37	22.26	22.87	35.83	28.60	91.95	14.95	17.79	16.09	11.94	15.07	66.84	382.30
<b>2002</b>	45.40	13.80	10.30	21.22	14.59	14.32	16.51	17.96	16.42	70.83	72.14	22.60	336.09
<b>2003</b>	41.00	28.41	3.60	11.77	65.20	62.40	87.36	17.89	45.08	75.23	17.52	60.84	487.89
<b>2004</b>	45.50	20.50	56.98	38.35	14.98	12.34	18.50	13.99	20.58	12.25	16.47	85.68	356.12
<b>2005</b>	82.17	41.67	23.83	8.30	15.42	20.05	11.30	10.98	77.49	95.87	16.24	17.16	420.48
<b>2006</b>	12.70	14.90	2.00	74.90	15.63	19.83	18.69	11.23	11.25	78.33	15.39	79.04	353.89
<b>2007</b>	68.21	10.39	20.60	34.27	44.19	88.39	17.06	83.62	19.51	62.54	10.39	40.24	499.41
<b>2008</b>	46.20	25.30	32.10	16.82	87.85	16.44	11.60	12.31	99.90	80.29	12.36	14.12	455.29
<b>2009</b>	19.48	27.00	14.00	61.29	59.24	65.46	93.28	19.14	11.01	68.00	10.69	93.91	542.50
<b>2010</b>	1.40	1.00	15.30	48.20	20.20	13.73	15.52	24.15	86.24	17.72	19.41	27.41	290.28
<b>2011</b>	93.30	10.90	65.95	10.59	24.79	24.47	12.31	10.94	11.92	84.43	14.88	19.27	383.75
<b>2012</b>	58.09	46.40	11.50	11.62	30.01	10.36	92.05	16.55	12.60	60.60	12.94	82.85	445.57
<b>2013</b>	23.44	9.80	56.81	22.29	97.07	11.70	82.68	18.60	97.55	10.70	75.13	19.94	525.71
<b>2014</b>	24.66	20.50	71.06	29.74	49.10	84.32	22.03	20.18	13.58	10.16	16.00	10.09	371.42
<b>2015</b>	38.00	13.94	17.10	69.30	22.49	84.08	27.76	20.29	21.39	33.73	24.41	26.17	239.43

<b>2016</b>	30.27	17.78	21.81	38.53	11.57	10.66	94.08	18.79	15.24	12.35	78.78	25.39	305.39
<b>2017</b>	29.43	29.00	12.92	95.01	11.13	15.26	15.87	19.56	14.97	64.37	69.89	13.58	390.99
<b>2018</b>	48.54	22.46	25.10	10.78	18.02	71.95	13.97	18.68	11.19	67.37	23.74	34.40	366.20
<b>2019</b>	37.96	24.20	14.00	80.55	10.76	11.94	18.00	16.41	15.04	80.58	95.50	15.91	382.89
<b>2020</b>	66.20	10.00	58.70	63.45	27.96	87.79	18.12	16.22	10.04	17.93	13.55	9.17	358.48
<b>PROMEDIO</b>	39.30	23.98	29.04	43.73	37.42	41.24	36.02	22.58	35.73	53.80	40.32	42.94	435.76

Nota: Esta tabla presenta la información de precipitación mensual multianual de la estación climática ordinaria Chita Aut de los años 1984 a 2020, en donde, los datos en color rojo son datos faltantes hallados con la ecuación 1, que representan el 4.40% del total de los datos, y los datos en color verde son datos proyectados calculados con la función PRONÓSTICO.LINEAL de Excel. que representan el 0.69% del total de los datos.

**Tabla 15**

*Datos De Precipitación Mensual Multianual De La Estación Climática Ordinaria Cardon El [35235010]*

	EN	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEPT	OCT	NOV	DIC	SUMA 1	SUMA 2
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12		
<b>1984</b>	44.15	38.87	54.32	7.90	13.62	21.07	38.32	37.55	36.69	31.03	13.95	16.07	353.54	
<b>1985</b>	52.75	14.29	29.10	14.23	14.15	30.32	50.06	39.99	32.10	19.74	17.76	14.43	328.92	
<b>1986</b>	40.31	26.20	14.07	82.16	20.59	19.60	44.33	55.09	34.09	23.45	25.42	12.52	397.83	
<b>1987</b>	92.60	47.48	53.82	13.35	20.98	30.11	36.58	58.43	34.64	22.23	24.84	11.28	446.34	
<b>1988</b>	74.51	36.02	14.60	33.86	16.47	20.24	29.01	58.02	25.74	26.03	17.40	14.85	330.73	
<b>1989</b>	10.24	30.94	83.30	81.27	19.39	44.51	37.25	53.11	24.99	25.05	24.06	10.78	444.89	
<b>1990</b>	19.01	56.50	44.40	18.97	23.64	47.60	46.22	38.95	37.06	19.66	16.19	15.18	383.38	

<b>1991</b>	59.49	42.08	10.57	88.95	13.54	21.17	29.42	48.98	48.72	26.99	15.92	11.47	417.30
<b>1992</b>	41.10	21.50	26.40	18.19	20.23	19.18	32.96	62.87	48.92	22.04	15.39	12.65	341.43
<b>1993</b>	13.46	38.20	3.60	37.91	13.20	32.66	33.88	35.42	27.63	20.75	18.46	12.44	287.61
<b>1994</b>	13.38	31.88	65.32	11.05	23.22	44.83	32.29	50.95	51.21	26.55	20.56	12.89	384.13
<b>1995</b>	52.80	43.08	32.72	10.16	19.21	16.92	35.26	30.33	34.17	21.56	17.07	58.07	371.35
<b>1996</b>	11.45	68.33	94.67	11.62	16.60	20.19	38.77	51.04	31.12	25.34	22.02	22.31	391.15
<b>1997</b>	79.30	42.83	15.30	35.65	12.80	33.49	29.58	68.61	41.46	18.94	13.41	44.69	393.23
<b>1998</b>	24.34	85.83	47.72	10.55	21.95	42.43	66.89	41.24	31.62	19.27	15.43	12.96	420.23
<b>1999</b>	71.49	68.50	94.20	94.40	26.96	20.03	27.23	37.75	30.29	33.32	22.32	10.25	536.74
<b>2000</b>	75.50	52.95	82.92	80.93	13.39	38.31	25.52	34.68	32.50	28.63	21.92	10.19	497.44
<b>2001</b>	11.67	44.40	62.93	87.27	14.99	32.82	47.51	29.86	51.19	34.74	22.83	11.88	407.69
<b>2002</b>	11.46	49.50	7.60	10.46	10.86	16.44	22.03	40.01	47.04	22.65	11.37	10.09	210.18
<b>2003</b>	45.85	50.52	16.71	92.22	25.04	26.36	33.53	58.98	29.20	24.18	21.13	90.69	463.89
<b>2004</b>	77.01	5.70	56.98	85.08	20.30	39.11	49.63	32.42	49.13	23.31	15.36	67.39	521.42
<b>2005</b>	23.53	45.37	40.50	18.31	23.68	38.32	27.73	32.23	28.69	31.26	22.83	14.50	346.95
<b>2006</b>	45.19	19.64	51.08	14.75	17.47	25.59	41.58	48.38	30.27	22.04	24.59	15.07	338.18
<b>2007</b>	36.23	81.29	55.50	80.37	12.35	36.42	58.06	31.63	45.03	25.02	23.84	13.71	499.45
<b>2008</b>	78.40	36.20	40.41	47.38	14.78	28.56	35.56	31.82	24.50	21.13	16.92	15.40	391.06
<b>2009</b>	34.74	36.49	32.43	12.37	24.67	18.78	44.59	41.43	37.94	19.09	21.58	28.33	352.44
<b>2010</b>	23.10	31.61	37.40	14.18	26.43	27.08	28.38	40.35	26.31	26.95	21.14	18.94	290.26
<b>2011</b>	10.53	27.70	95.12	20.89	32.65	45.12	36.87	28.60	30.50	22.01	16.31	17.96	384.26
<b>2012</b>	55.32	43.10	10.05	87.92	32.89	32.51	34.66	51.60	35.57	22.46	18.22	11.89	436.19
<b>2013</b>	45.30	26.17	66.25	93.49	13.84	26.19	23.25	40.56	40.84	23.93	20.49	16.04	436.35
<b>2014</b>	49.97	16.70	81.52	53.73	22.10	18.31	52.77	50.76	40.05	30.72	24.47	14.29	455.39
<b>2015</b>	70.67	68.93	65.41	73.42	32.12	40.06	71.12	54.14	61.94	22.01	10.38	14.96	585.16
<b>2016</b>	89.83	18.50	26.40	94.27	33.14	37.25	34.94	41.21	35.87	25.93	13.68	21.99	473.01
<b>2017</b>	11.58	55.18	22.84	19.69	19.74	25.60	39.65	59.27	20.28	29.42	13.02	16.20	332.47
<b>2018</b>	10.23	58.30	88.25	15.98	21.51	31.55	55.25	53.95	42.55	21.83	19.07	90.19	508.66
<b>2019</b>	80.54	22.65	23.61	20.07	20.79	33.70	45.23	36.88	40.55	16.12	21.40	20.62	361.54
<b>PROMEDIO</b>	44.08	41.23	45.78	44.25	20.62	30.46	39.83	44.64	36.68	24.32	18.91	22.65	419.78

Nota: Esta tabla presenta la información de precipitación mensual multianual de la estación climática ordinaria Cardon El de los años 1984 a 2019, en donde, los datos en color rojo son datos faltantes hallados con la ecuación 1, que representan el 2.55% del total de los datos.

**Tabla 16**

*Datos De Precipitación Mensual Multianual De La Estación Climática Ordinaria Tamara Aut [35235050]*

	EN	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEPT	OCT	NOV	DIC	SUMA 1	SUMA 2
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12		
<b>2018</b>	83.25	59.85	3.90	19.21	38.28	57.17	40.85	63.23	40.23	25.53	32.82	86.31	550.63	
<b>2019</b>	12.80	22.56	1.89	10.29	32.82	65.49	59.64	48.61	63.55	27.53	41.38	15.16		377.27
<b>2020</b>	72.80	2.30	1.60	37.36	10.69	25.86	41.86	47.68	39.97	37.28	38.51	39.74		280.12
<b>PROMEDIO</b>	56.28	31.08	2.75	22.29	27.26	49.51	47.45	53.17	47.92	26.53	37.10	50.74	550.63	

Nota: Esta tabla presenta la información de precipitación mensual multianual de la estación climática ordinaria Tamara Aut de los años 2018 a 2020, en donde, los datos en color rojo son datos faltantes hallados con la ecuación 1, que representan el 5.56% del total de los datos, y los datos en color verde son datos proyectados calculados con la función PRONÓSTICO.LINEAL de Excel. que representan el 8.33% del total de los datos.

**Tabla 17***Datos De Temperatura Media Mensual Multianual De La Estación Climática Ordinaria Chita**Aut [24035250]*

	EN	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEPT	OCT	NOV	DIC
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
<b>1987</b>	7.6	7.9	8.1	8.2	8.1	12.5	11.9	12.1	11.8	12.5	12.0	12.2
<b>1988</b>	12.4	13.0	12.6	13.1	12.7	11.7	11.3	11.3	11.1	11.6	12.0	11.1
<b>1989</b>	11.2	11.6	11.8	12.3	11.6	11.4	11.0	11.2	11.4	11.7	12.3	11.4
<b>1990</b>	11.5	12.5	12.4	12.3	12.2	11.6	11.0	11.1	11.0	12.1	11.9	11.2
<b>1991</b>	11.0	12.0	12.7	12.3	12.7	12.2	11.3	10.8	11.4	10.8	12.0	11.3
<b>1992</b>	11.8	12.3	13.0	13.1	12.6	11.7	10.8	11.3	11.3	11.4	11.6	11.6
<b>1993</b>	11.4	12.1	12.1	12.7	12.5	11.9	11.1	10.9	11.3	11.6	11.8	11.8
<b>1994</b>	11.9	12.0	12.7	12.3	12.2	11.2	11.2	10.7	11.5	11.7	11.8	12.4
<b>1995</b>	12.2	12.1	12.9	13.3	13.1	12.4	11.1	12.5	12.2	12.4	12.5	12.1
<b>1996</b>	11.9	12.4	12.9	13.0	12.9	12.3	11.8	11.4	12.0	12.4	12.0	11.9
<b>1997</b>	12.8	11.4	13.4	13.0	13.0	12.2	11.9	11.8	12.5	12.9	12.3	12.0
<b>1998</b>	12.9	13.9	13.7	14.0	13.5	11.7	11.6	12.2	12.1	12.3	12.0	11.7
<b>1999</b>	11.7	11.5	12.3	12.1	11.5	11.5	10.8	11.0	11.0	11.8	11.6	11.5
<b>2000</b>	11.7	11.7	12.1	12.3	12.1	11.7	10.9	11.1	11.5	11.8	12.2	11.6
<b>2001</b>	10.6	12.0	12.4	12.2	12.5	11.4	11.2	11.6	11.7	12.7	12.2	12.8
<b>2002</b>	11.7	12.3	12.9	12.7	12.3	12.0	11.5	11.4	11.7	11.4	11.1	12.3
<b>2003</b>	12.2	13.2	12.6	12.8	12.4	11.7	10.9	11.5	11.8	12.3	12.5	11.8
<b>2004</b>	12.5	12.3	12.7	12.4	12.9	11.2	11.1	11.4	11.6	12.0	12.2	11.9
<b>2005</b>	11.9	12.5	12.8	13.2	12.8	12.0	11.8	11.5	11.5	12.0	12.1	11.5
<b>2006</b>	11.7	12.6	12.4	12.4	12.4	11.7	11.5	11.7	11.2	10.4	10.4	10.3
<b>2007</b>	12.9	11.9	12.6	13.0	13.1	11.9	11.9	11.7	11.4	12.0	11.7	11.5
<b>2008</b>	11.7	11.9	12.3	12.4	12.2	12.1	11.4	11.7	12.5	11.8	12.6	12.1
<b>2009</b>	12.0	12.1	12.8	12.8	12.1	12.4	11.4	11.9	11.9	12.1	12.4	12.1
<b>2010</b>	12.3	13.0	13.1	13.2	12.9	12.3	11.9	11.8	12.0	12.3	12.0	11.9
<b>2011</b>	11.6	11.9	11.6	12.2	12.4	12.2	11.2	11.3	11.2	11.4	12.1	11.7
<b>2012</b>	11.9	11.4	12.1	12.2	11.8	12.0	11.5	11.8	11.5	12.2	12.2	11.5
<b>2013</b>	12.1	12.7	12.8	13.2	11.6	11.7	10.4	11.9	12.1	11.8	12.1	11.6
<b>2014</b>	12.0	12.7	12.1	11.4	10.8	7.7	10.4	10.0	7.6	12.1	8.0	8.0
<b>2015</b>	7.2	1.6	9.9	1.6	1.6	1.5	1.4	1.4	1.5	1.5	1.6	1.6
<b>2016</b>	5.9	6.6	6.2	6.0	6.4	12.3	5.8	5.8	11.7	11.6	12.8	12.3
<b>2017</b>	11.9	12.9	13.0	12.7	13.1	12.5	12.2	12.0	8.8	9.1	9.2	9.1
<b>2018</b>	12.7	12.8	12.4	12.3	13.1	12.9	12.3	12.6	12.5	13.0	13.2	12.4
<b>2019</b>	13.0	13.3	13.3	13.5	13.2	12.5	12.2	11.9	12.0	12.6	13.0	13.0

<b>2020</b>	13.1	13.6	13.7	13.3	13.0	12.2	12.0	12.0	12.0	11.6	11.4	11.2
-------------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------

Nota: Esta tabla presenta la información de temperatura media mensual multianual de la estación climática ordinaria Chita Aut de los años 1987 a 2020, en donde, los datos en color verde son datos proyectados calculados con la función PRONÓSTICO.LINEAL de Excel. que representan el 0.74% del total de los datos.

**Tabla 18**

*Datos De Temperatura Media Mensual Multianual De La Estación Climática Ordinaria Cardon*

*El [35235010]*

	EN	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEPT	OCT	NOV	DIC
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
<b>1984</b>	6.1	6.2	6.9	6.7	6.4	5.5	5.0	5.5	5.6	6.3	6.6	6.3
<b>1985</b>	7.3	6.1	6.7	6.8	6.3	5.2	4.7	5.2	5.9	6.4	6.6	7.4
<b>1986</b>	6.9	6.4	7.4	7.4	7.1	6.4	5.0	5.4	6.1	6.8	6.9	6.6
<b>1987</b>	6.9	6.9	8.1	7.3	7.0	6.1	6.4	6.2	6.7	7.1	7.0	6.4
<b>1988</b>	7.4	7.6	7.4	6.9	6.9	6.0	5.0	6.0	6.3	6.7	6.9	6.3
<b>1989</b>	6.2	6.1	6.5	6.4	6.0	5.5	5.3	5.6	5.9	6.1	7.1	7.4
<b>1990</b>	6.5	7.0	6.8	6.7	6.3	5.4	5.0	5.6	5.4	6.6	7.2	6.5
<b>1991</b>	7.0	6.7	6.9	5.7	5.8	5.8	5.1	4.6	5.3	5.3	6.2	6.4
<b>1992</b>	6.8	7.0	7.3	7.0	6.6	5.3	4.6	4.9	5.1	5.4	6.6	6.6
<b>1993</b>	6.2	6.2	6.1	6.9	7.0	6.0	5.7	5.3	5.6	6.1	6.8	6.8
<b>1994</b>	6.7	6.2	5.9	6.3	6.3	5.5	5.2	5.2	5.4	6.2	6.6	6.9
<b>1995</b>	6.8	7.5	7.1	7.3	6.1	5.9	5.5	6.4	6.0	6.4	7.2	7.1
<b>1996</b>	6.9	6.5	7.3	6.8	6.8	6.3	5.6	5.5	4.8	5.1	5.6	5.3
<b>2001</b>	3.2	3.3	3.5	3.7	3.8	3.4	3.0	3.2	6.3	6.7	7.0	7.5
<b>2002</b>	6.4	6.3	6.7	7.2	7.6	6.6	5.4	4.6	5.4	5.9	6.3	6.3
<b>2003</b>	6.4	6.4	6.3	6.3	5.9	6.1	6.0	5.0	6.0	6.8	6.7	6.5
<b>2004</b>	6.9	6.6	7.0	6.7	6.8	6.1	5.7	5.5	5.2	5.8	6.0	6.7
<b>2006</b>	5.1	5.1	4.8	4.7	5.3	5.3	5.2	5.0	6.1	6.3	6.3	6.6
<b>2007</b>	6.8	7.9	7.2	7.0	7.1	6.3	6.0	6.1	5.8	6.7	6.9	7.4
<b>2008</b>	7.2	7.2	7.5	7.3	6.9	6.0	5.7	5.8	5.8	6.4	7.7	7.4
<b>2009</b>	6.8	7.5	7.4	7.1	6.8	6.8	6.5	6.8	6.0	6.8	7.8	7.5
<b>2010</b>	7.6	8.3	8.4	9.1	8.6	8.4	7.6	7.1	7.0	7.2	7.6	7.8



<b>2011</b>	7.5	7.5	7.1	8.2	7.8	6.2	6.1	6.2	5.9	6.6	7.6	7.9
<b>2012</b>	7.0	7.7	7.5	7.2	6.8	6.8	6.6	6.2	6.2	6.6	7.4	7.9
<b>2013</b>	7.7	7.8	8.0	8.3	7.9	7.2	6.3	6.4	6.3	6.6	7.3	7.0
<b>2014</b>	7.4	7.4	7.6	7.8	7.8	7.1	6.1	6.4	6.3	6.9	7.7	7.3
<b>2015</b>	6.8	6.9	7.6	6.9	7.5	6.9	6.6	6.5	4.6	5.0	5.4	5.4
<b>2016</b>	8.1	7.9	8.5	8.4	8.4	6.8	6.0	6.4	6.5	7.1	8.1	7.4
<b>2017</b>	7.4	7.8	7.3	7.2	7.3	7.0	6.6	6.6	6.9	7.1	7.4	7.7
<b>2018</b>	7.1	7.1	7.1	6.9	6.8	6.5	5.7	5.6	6.3	7.0	7.9	7.4
<b>2019</b>	7.3	7.5	6.8	7.5	7.2	6.8	6.4	5.5	6.9	6.5	6.3	6.3

Nota: Esta tabla presenta la información de temperatura media mensual multianual de la estación climática ordinaria Cardon El de los años 1984 a 2019.

### Tabla 19

*Datos De Temperatura Media Mensual Multianual De La Estación Climática Ordinaria Tamara Aut [35235050]*

	EN	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEPT	OCT	NOV	DIC
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
<b>2018</b>	22.7	23.2	24.0	22.3	22.4	21.7	21.5	21.8	22.7	23.1	23.1	23.1
<b>2019</b>	24.0	25.0	24.5	23.3	23.0	22.1	22.0	21.6	22.9	22.7	23.1	23.2
<b>2020</b>	23.2	25.1	24.9	24.0	23.4	22.4	22.2	22.6	23.2	22.2	22.0	21.7

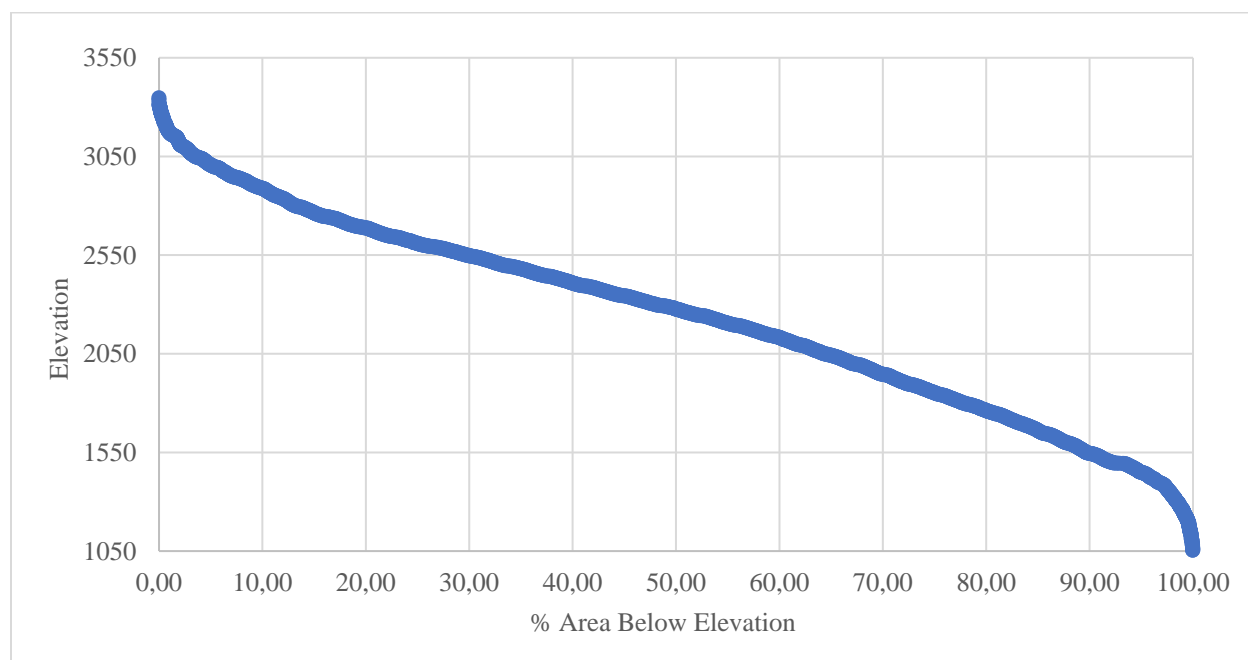
Nota: Esta tabla presenta la información de temperatura media mensual multianual de la estación climática ordinaria Tamara Aut de los años 2018 a 2020, en donde, los datos en color verde son datos proyectados calculados con la función PRONÓSTICO.LINEAL de Excel. que representan el 8.33% del total de los datos.

## Reporte Topográfico

El reporte topográfico de la Microcuenca Sácama obtenido del modelo SWAT (Soil And Water Assessment Tool) generó una curva hipsométrica en fase de equilibrio o etapa de madurez como se muestra en la figura 18, que de acuerdo con Strahler (1957), “relaciona la altitud con el área que cambia a través del tiempo en la medida que la microcuenca sufre los efectos de la erosión, lo cual implica que esta área no presenta gran potencial erosivo”. Adicionalmente se presenta la formación de sedimentos y su perfil está en un proceso de cambio a medida que la microcuenca es sometida a una denudación que provoca el desgaste de la superficie terrestre por el movimiento del agua y el viento, lo que lleva a una reducción de la elevación y del relieve de las formas terrestres y de los paisajes.

### Figura 18

*Curva Hipsométrica De La Microcuenca Sácama*



Nota: La grafica presenta la curva hipsométrica en fase de equilibrio de la Microcuenca Sácama.

Adicionalmente el reporte topográfico arrojó una tabla con los datos de elevación y desviación estándar de las 23 subcuencas como se muestra en la tabla 20. A estos datos se le realizó un análisis clúster a través de la herramienta Statgraphics, con el cual se buscó clasificar estos datos en grupos homogéneos.

**Tabla 20**

*Datos De Elevación Y Desviación Estándar De Las 23 Subcuencas De La Microcuenca Sácama*

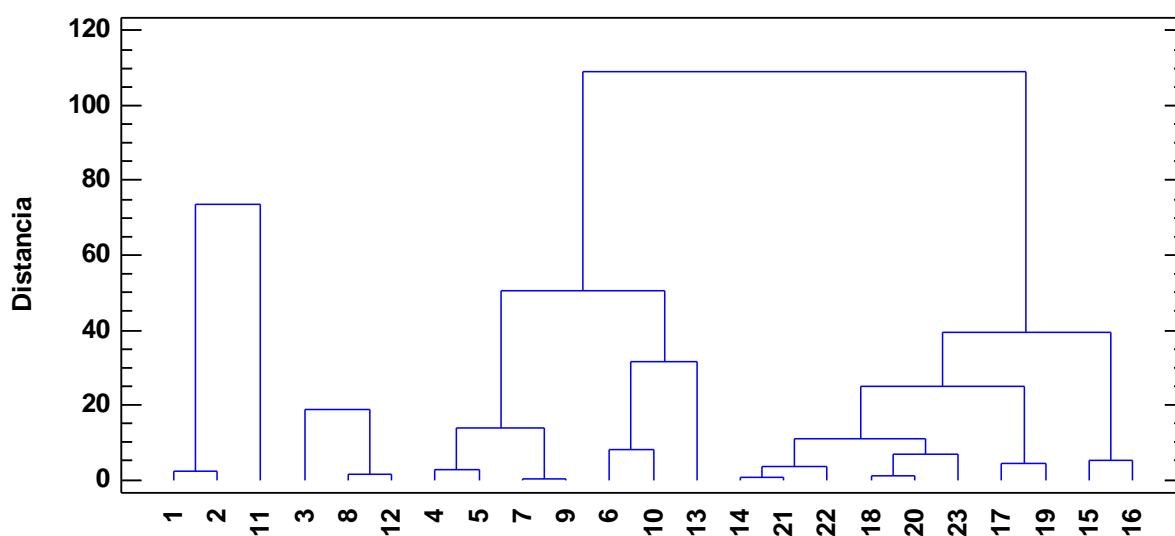
Subbasin	Min Elevation	Max Elevation	Mean Elevation	Std Deviation	Área
1	1053	1227	1151.65	59.43	34.79
2	1085	1236	1165.91	47.39	14.44
3	1081	2854	1864.47	401.44	1485.32
4	1131	1738	1370.81	136.52	305.86
5	1332	2050	1573.10	157.16	290.76
6	1141	2108	1671.51	229.82	560.52
7	1347	1809	1540.83	134.79	196.25
8	1546	2931	2222.21	355.67	1112.51
9	1435	2036	1636.42	130.74	216.60
10	1433	2407	1875.88	211.63	579.56
11	1543	1648	1588.39	28.99	21.66
12	1575	2998	2382.29	430.54	1067.23
13	1559	2445	1936.07	196.22	758.74
14	1770	2801	2112.61	282.75	466.01
15	1770	2606	2041.71	180.47	150.30
16	1846	2453	2184.03	135.51	291.42
17	2022	3185	2689.24	274.11	424.00
18	1899	2891	2307.03	256.68	454.85
19	2249	3346	2925.57	213.23	604.50
20	2024	3051	2438.88	246.26	593.34
21	1901	2796	2297.50	208.81	389.87
22	1833	2649	2259.01	194.54	322.27
23	2256	3291	2785.60	215.55	615.66

Nota: Esta tabla presenta los datos de elevación máxima, mínima, meda, y desviación estándar de las 23 subcuencas de la Microcuenca Sácama.

Partiendo del análisis clúster de la herramienta Statgraphics aplicando el método de conglomeración Ward, con métrica euclidiana cuadrada, se obtuvo la figura 19, en donde se evidencian 3 grupos de conglomerados, que son homogéneos en el área y forma de las subcuencas. En el primer conglomerado se agrupan las subcuencas 1,2 y 11 que representan 13,04% de los datos, en el segundo las subcuencas 3,8 y 12 que representan el 13,04% de los datos y en el tercero las demás subcuencas que representan el 73,92% de los datos, como se observa a continuación.

**Figura 19**

*Dendograma, Del Método De Conglomeración Ward, Con Métrica Euclidiana Cuadrada*



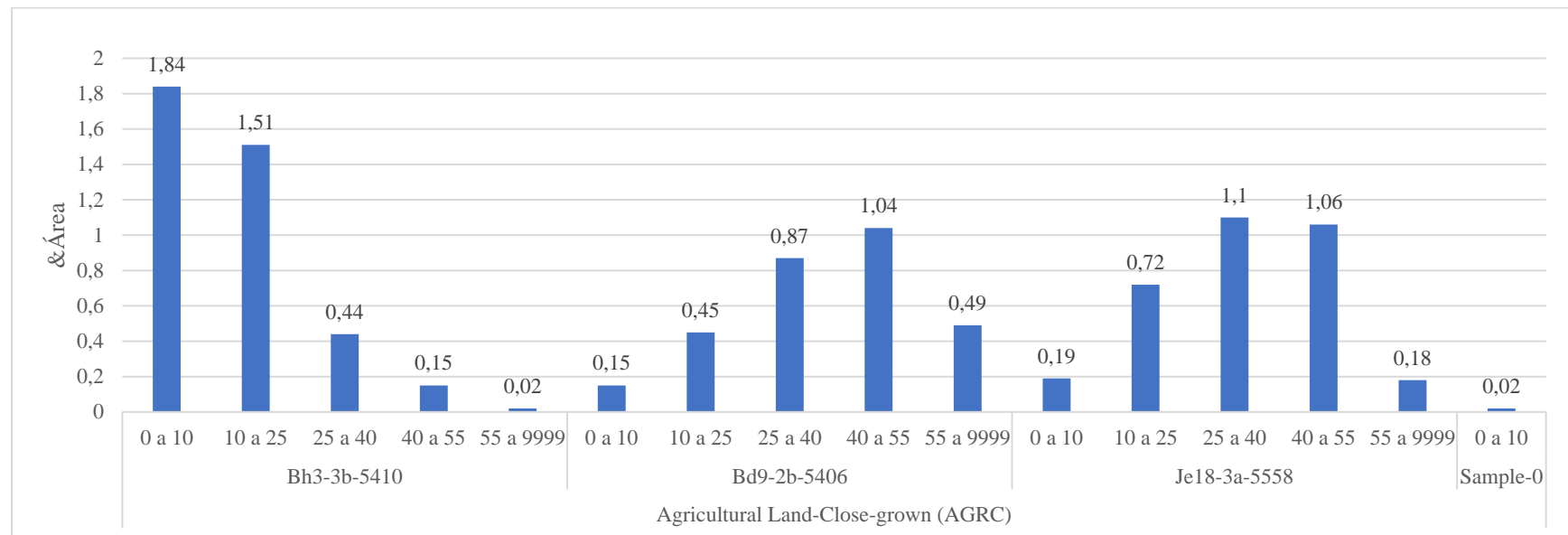
Nota: Esta gráfica presenta los 3 grupos de conglomerados de los datos de las 23 subcuencas de la Microcuenca Sácama.

## Reporte URH (Unidades De Respuesta Hidrológica)

A partir del reporte de las URHs (Unidades De Respuesta Hidrológica) de la Microcuenca Sácama obtenido del modelo SWAT (Soil And Water Assessment Tool), se generaron una serie de gráficas que se muestran a continuación, en ellas se muestra el porcentaje de área de las URHs (Unidades De Respuesta Hidrológica) que mantienen propiedades hidrológicas comunes relacionando uso del suelo-tipo del suelo-pendiente.

**Figura 20**

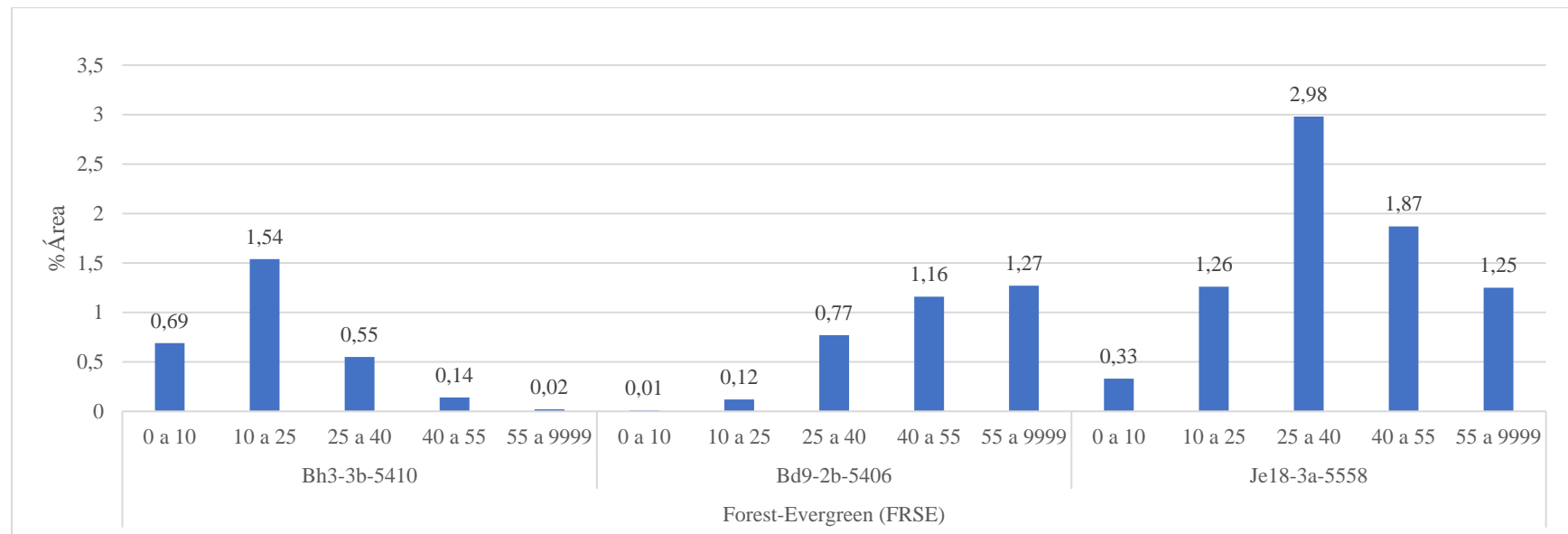
*Porcentaje De Área De Unidades De Respuesta Hidrológica (AGRC)*



Nota: La figura 20 tiene el 10,23% del área total de las URHs (Unidades De Respuesta Hidrológica) de la Microcuenca Sácama, en esta se observa el porcentaje de área de las unidades de respuesta hidrológica (AGRC), donde la unidad AGRC-Bh3-3b-5410-(0 a 10) presenta el mayor porcentaje de área con un valor de 1,84% distribuido en las subcuencas 2,3,4,5,7,8,9,11 y 12. Por otra parte, las unidades AGRC- Bh3-3b-5410-(55 a 9999) y AGRC-Sample-0-(0 a 10) muestran el menor porcentaje de área con un valor de 0,02%, distribuido en las subcuencas 1,4 y 3,4 respectivamente.

### Figura 21

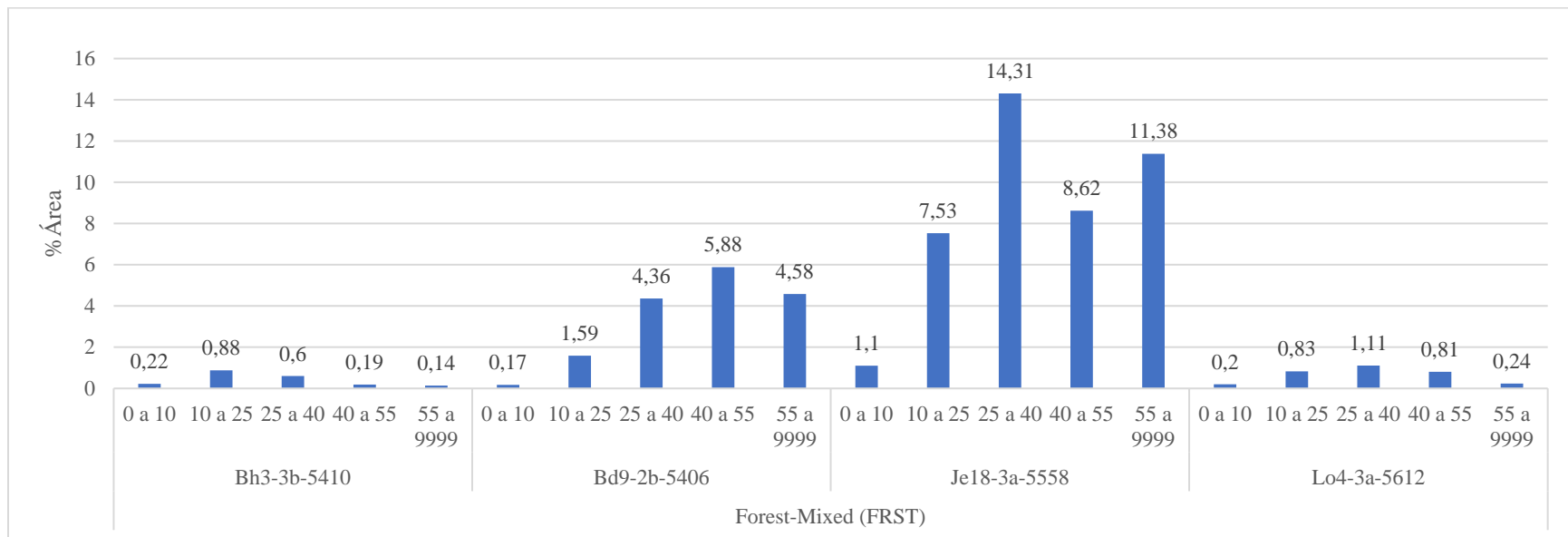
*Porcentaje De Área De Unidades De Respuesta Hidrológica (FRSE)*



Nota: La figura 21 tiene el 13,96% del área total de las URHs (Unidades De Respuesta Hidrológica) de la Microcuenca Sácama, en esta se observa el porcentaje de área de las unidades de respuesta hidrológica (FRSE), donde la unidad FRSE-Je18-3a-5558-(25 a 40) presenta el mayor porcentaje de área con un valor de 2,98% distribuido en las subcuencas 3,6,7,8,9,10,11,12,13,14,15,18 y 21. Por otra parte, la unidad FRSE-Je18-3a-5558-(0 a 10) muestra el menor porcentaje de área con un valor de 0,01% en la subcuenca 3.

## Figura 22

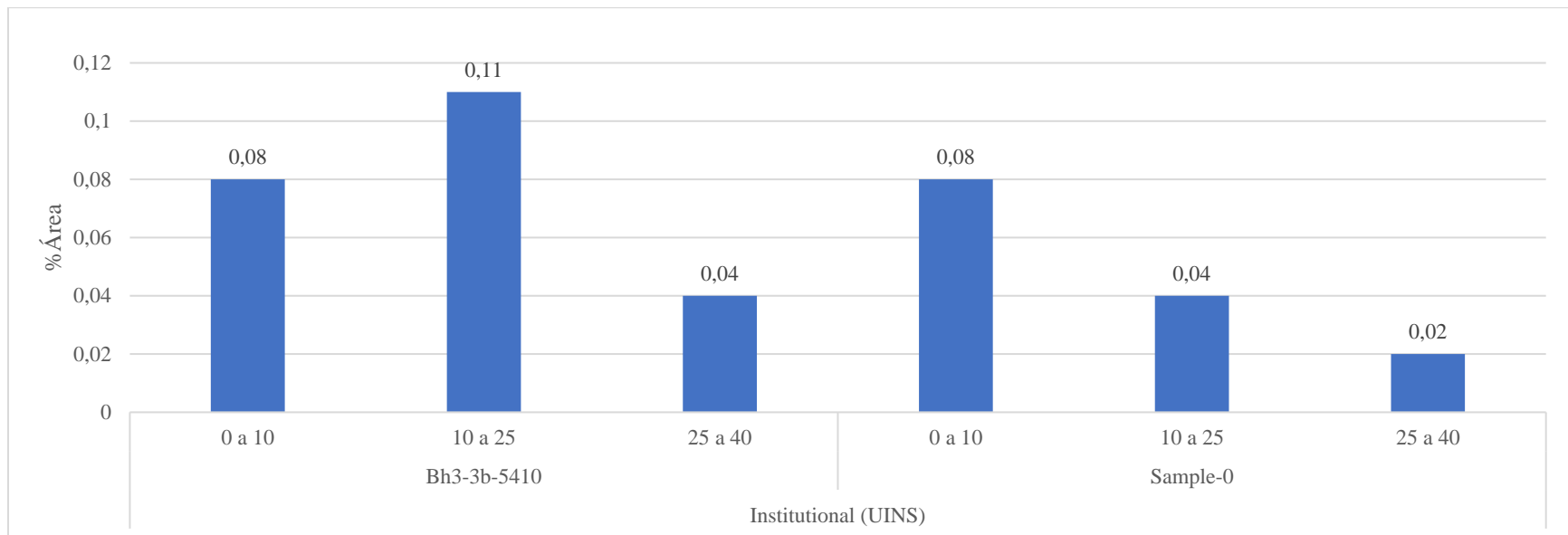
### Porcentaje De Área De Unidades De Respuesta Hidrológica (FRST)



Nota: La figura 22 tiene el 64,74% del área total de las URHs (Unidades De Respuesta Hidrológica) de la Microcuenca Sácama, en esta se observa el porcentaje de área de las unidades de respuesta hidrológica (FRST), donde la unidad FRST--Je18-3a-5558-(25 a 40) presenta el mayor porcentaje de área con un valor de 14,31% distribuido en las subcuencas 3,6,8,10,12,13,14,15,16,17,18,19,20,21,22 y 23. Por otra parte, la unidad FRST-Bd9-2b-5406-(0 a 10) muestran el menor porcentaje de área con un valor de 0,17% distribuido en las subcuencas 3,5,6,8,10,13,16 y 22.

### Figura 23

*Porcentaje De Área De Unidades De Respuesta Hidrológica (UINS)*

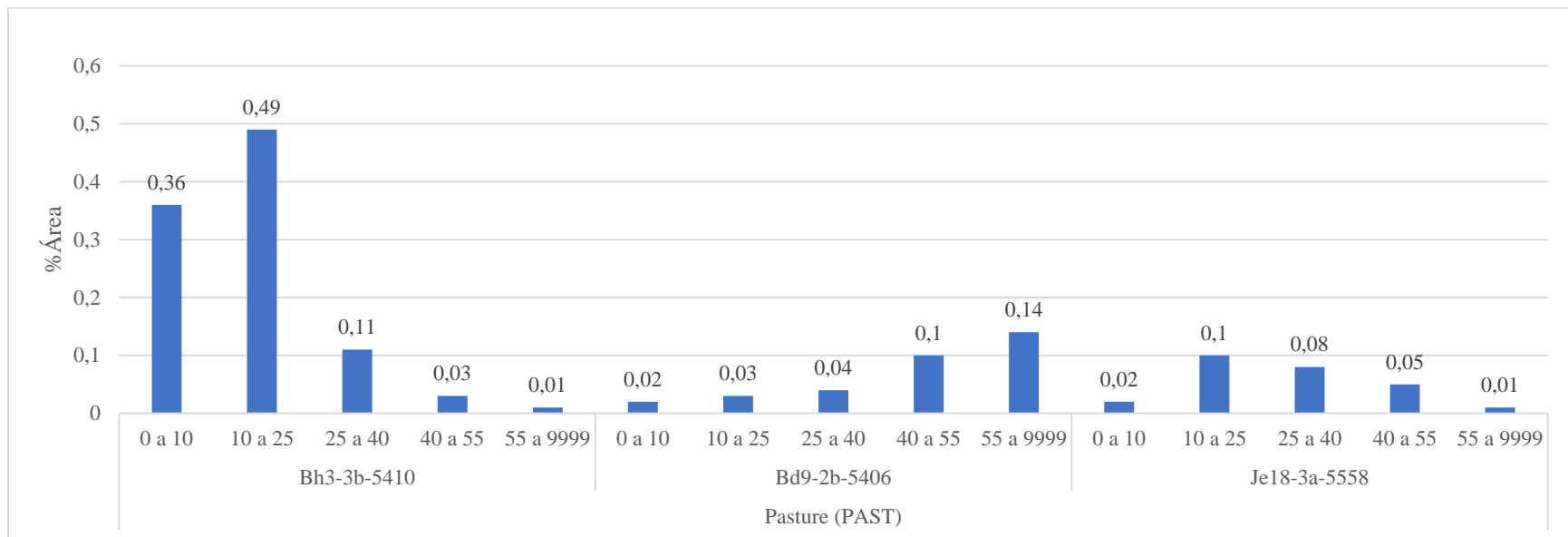




Nota: La figura 23 tiene el 0,37% del área total de las URHs (Unidades De Respuesta Hidrológica) de la Microcuenca Sácama, en esta se observa el porcentaje de área de las unidades de respuesta hidrológica (UINS), donde la unidad UINS-Bh3-3b-5410-(10 a 25) presenta el mayor porcentaje de área con un valor de 0,11% en la subcuenca 4. Por otra parte, la unidad UINS-Sample-0-(25 a 40) muestra el menor porcentaje de área con un valor de 0,02% en la subcuenca 4.

## Figura 24

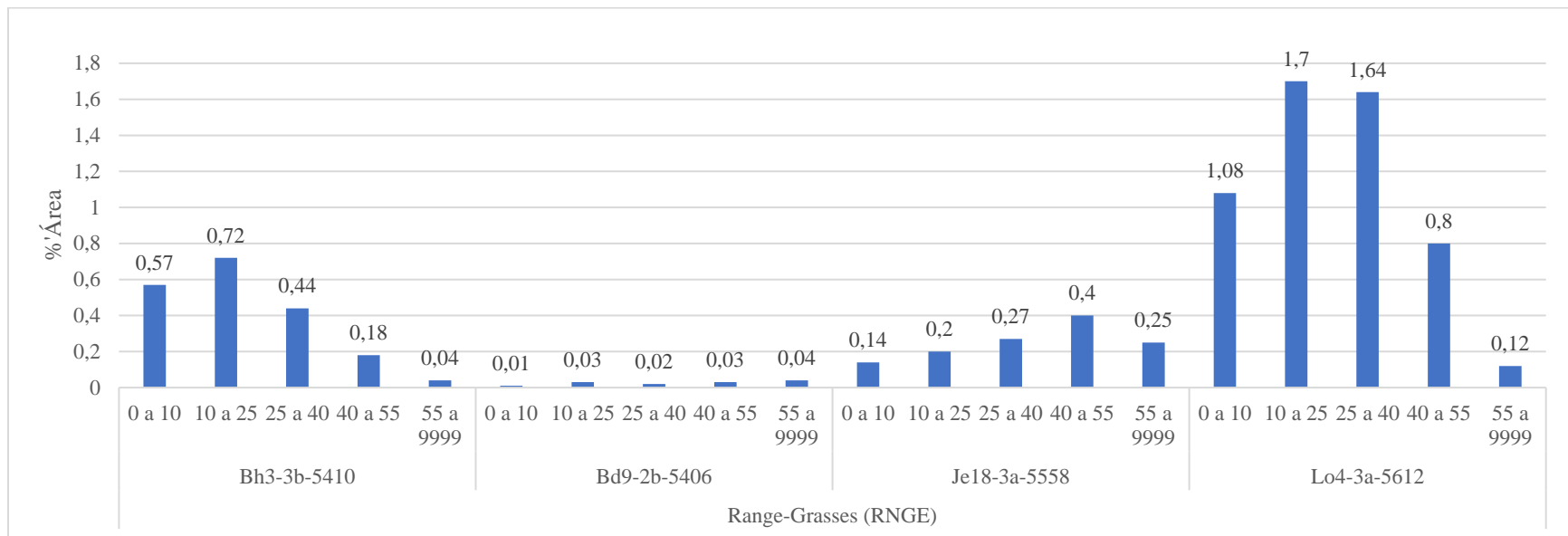
### *Porcentaje De Área De Unidades De Respuesta Hidrológica (PAST)*



Nota: La figura 24 tiene el 1,59% del área total de las URHs (Unidades De Respuesta Hidrológica) de la Microcuenca Sácama, en esta se observa el porcentaje de área de las unidades de respuesta hidrológica (PAST), donde la unidad PAST-Bh3-3b-5410-(10 a 25) presenta el mayor porcentaje de área con un valor de 0,49% distribuido en las subcuencas 1,2,3,4,6,13 y 14. Po otra parte, las unidades PAST-Bh3-3b-5410-(55 a 9999) y PAST-Je18-3a-5406-(55 a 9999)

### Figura 25

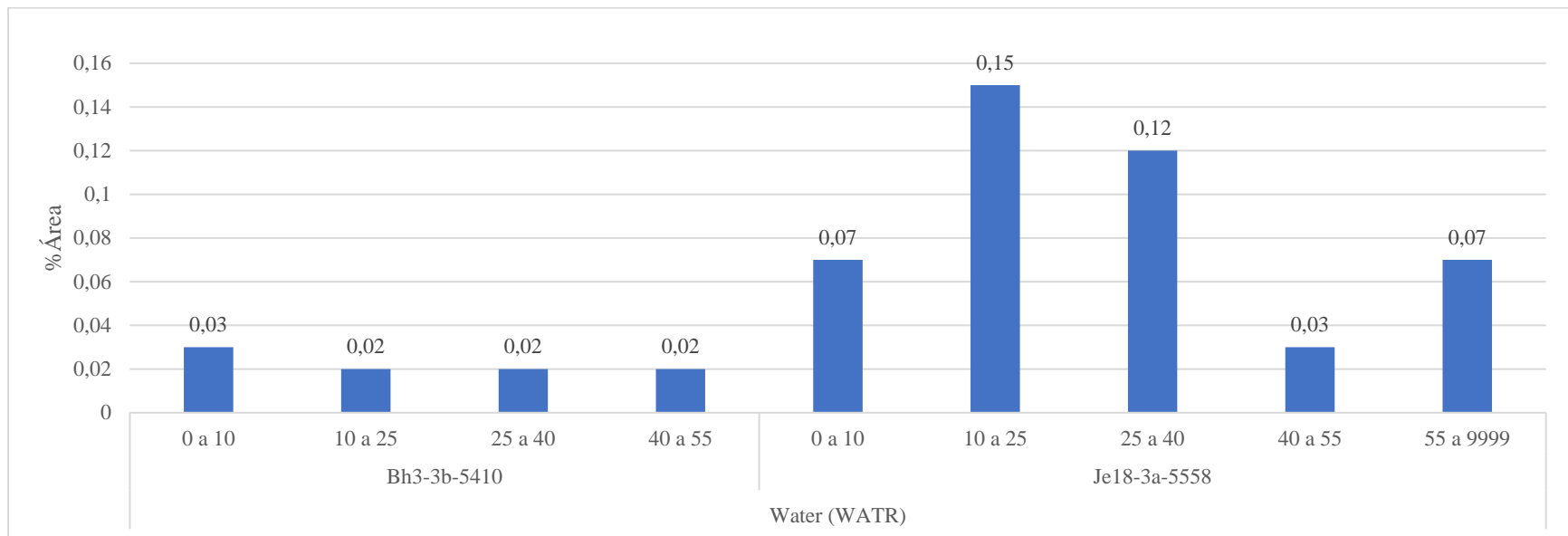
*Porcentaje De Área De Unidades De Respuesta Hidrológica (RNGE)*



Nota: La figura 25 tiene el 8,68% del área total de las URHs (Unidades De Respuesta Hidrológica) de la Microcuenca Sácama, en esta se observa el porcentaje de área de las unidades de respuesta hidrológica (RNGE), donde la unidad RNGE-Lo4-3a-5612-(10 a 25) presenta el mayor porcentaje de área con un valor de 1,7% distribuido en las subcuencas 12,17,19 y 23. Por otra parte, la unidad RNGE-Bd9-2b-5406-(0 a 10) muestran el menor porcentaje de área con un valor de 0,01% en la subcuenca 3.

### Figura 26

*Porcentaje De Área De Unidades De Respuesta Hidrológica (WATR)*



Nota: La figura 26 tiene el 0,53% del área total de las URHs (Unidades De Respuesta Hidrológica) de la Microcuenca Sácama, en esta se observa el porcentaje de área de las unidades de respuesta hidrológica (WATR), donde la unidad WATR-Je18-3a-5558-(10 a 25) presenta el mayor porcentaje de área con un valor de 0,15% distribuido en las subcuencas 4,7,8,9,11 y 13. Por otra parte, las unidades WATR-Bh3-3b-5410-(10 a 25), WATR-Bh3-3b-5410-(25 a 40) y WATR-Bh3-3b-5410-(40 a 55) muestran el menor porcentaje de área con un valor de 0,02% distribuido en las subcuencas 2,4; 4,6 y 1,2 respectivamente.

Finalmente, de las figuras 20 a 26 se concluye que la homologación de la cobertura de la tierra está directamente relacionada con las URHs (Unidades De Respuesta Hidrológica), ya que el uso de suelo que cubre más área coincide con el mayor porcentaje de área de las unidades de respuesta hidrológica (FRST), con un 64,74%; y el uso del suelo que cubre menos área concuerda con el menor porcentaje de área de las unidades de respuesta hidrológica (UINS), con un 0,37%

### **Balance Hídrico**

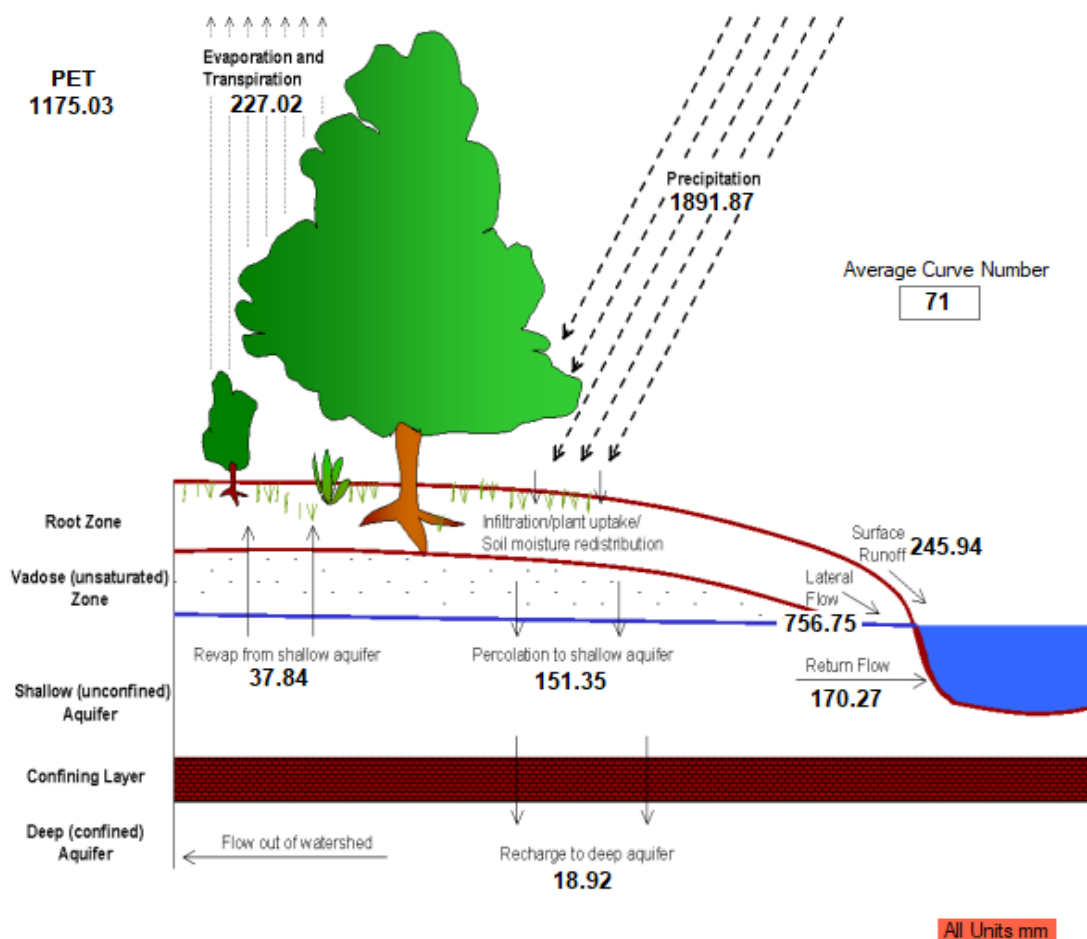
Siguiendo la ruta descrita en el capítulo 5 implementación del modelo, apartado de visualización de la herramienta del balance hídrico, se dio clic en la opción Show Average Monthly Basin Values (Mostrar Los Valores Medios Mensuales De La Cuenca), obtenido como resultado el balance de la figura 27.

En la figura 27 se observan los componentes del balance hídrico donde, la precipitación media de la Microcuenca para el periodo de estudio (1985 a 2020) es de 1891.87 mm y la evapotranspiración real es de 227.02 mm. Por otro lado, la percolación (151.35 mm), el flujo de retorno (170.27 mm), la escorrentía superficial (245.94 mm) representa el 8%, 9% y 13% de la

precipitación ocurrida, y el flujo lateral (756.75 mm) representa el 40% siendo el componente que más aporta a la producción de agua, esto debido a que la microcuenca presenta una pendiente promedio del 20% que según los parámetros del modelo SWAT (Soil And Water Assessment Tool), se clasifica como ondulada, lo que hace que el agua escurra con mayor facilidad.

**Figura 27**

*Balance Hídrico Parcial De La Microcuenca Sácama*



Nota: Esta figura presenta el balance hídrico mensual de la Microcuenca Sácama, en donde sus componentes se encuentran en unidades de mm.

## Calibración Del Modelo

La calibración realizada con la herramienta SWAT-CUP (SWAT Calibration and Uncertainty Procedures) arrojó como resultado la tabla 21, que relaciona los datos de caudal real de la estación limnográfica puente quemado, los datos de caudal simulado y el coeficiente de eficiencia de Nash y Sutcliffe. Durante esta etapa bajo los criterios de Molnar (2011) se clasificó el ajuste de los datos de caudales reales y simulados, como bueno, con un valor de eficiencia de 0.402 a 0.595, que representan en promedio un 49,85% de efectividad en la relación de los datos.

**Tabla 21**

*Datos De Caudal Real Y Simulado, De La Microcuenca Sácama*

	CAUDAL REAL [L/s]	CAUDAL SIMULADO [L/s]	NSE
FLOW_OUT_1_1985	13.29	13.26	0.411
FLOW_OUT_2_1985	12.66	12.17	0.467
FLOW_OUT_3_1985	15.05	13.88	0.535
FLOW_OUT_4_1985	17.07	14.49	0.524
FLOW_OUT_5_1985	34.49	30.93	0.581
FLOW_OUT_6_1985	87.52	51.23	0.417
FLOW_OUT_7_1985	78.23	51.08	0.496
FLOW_OUT_8_1985	99.84	60.00	0.557
FLOW_OUT_9_1985	75.57	50.97	0.522
FLOW_OUT_10_1985	56.62	43.76	0.402
FLOW_OUT_11_1985	41.98	40.54	0.480
FLOW_OUT_12_1985	31.31	25.32	0.523
FLOW_OUT_1_1986	20.00	19.99	0.427
FLOW_OUT_2_1986	18.68	17.76	0.508
FLOW_OUT_3_1986	25.81	21.61	0.478
FLOW_OUT_4_1986	44.13	41.07	0.455
FLOW_OUT_5_1986	60.84	46.39	0.520
FLOW_OUT_6_1986	38.82	37.97	0.470
FLOW_OUT_7_1986	17.84	16.29	0.480
FLOW_OUT_8_1986	48.42	42.59	0.523

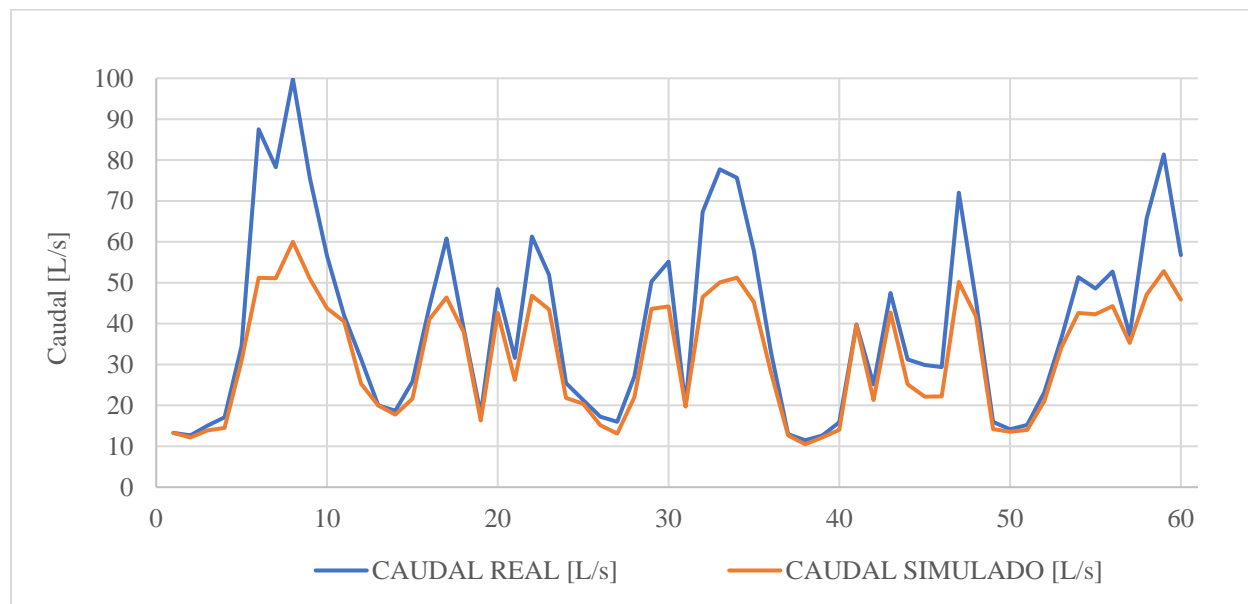
FLOW_OUT_9_1986	31.60	26.25	0.593
FLOW_OUT_10_1986	61.32	46.82	0.538
FLOW_OUT_11_1986	51.93	43.45	0.496
FLOW_OUT_12_1986	25.45	21.81	0.556
FLOW_OUT_1_1988	21.30	20.41	0.538
FLOW_OUT_2_1988	17.26	15.17	0.413
FLOW_OUT_3_1988	16.00	13.08	0.465
FLOW_OUT_4_1988	27.05	22.03	0.494
FLOW_OUT_5_1988	50.28	43.60	0.579
FLOW_OUT_6_1988	55.15	44.20	0.479
FLOW_OUT_7_1988	19.83	19.72	0.511
FLOW_OUT_8_1988	67.33	46.52	0.421
FLOW_OUT_9_1988	77.73	50.07	0.463
FLOW_OUT_10_1988	75.67	51.23	0.531
FLOW_OUT_11_1988	57.77	45.27	0.506
FLOW_OUT_12_1988	33.00	28.03	0.494
FLOW_OUT_1_1991	12.95	12.67	0.494
FLOW_OUT_2_1991	11.48	10.48	0.548
FLOW_OUT_3_1991	12.64	12.17	0.533
FLOW_OUT_4_1991	15.87	14.03	0.473
FLOW_OUT_5_1991	39.77	39.62	0.513
FLOW_OUT_6_1991	25.15	21.33	0.451
FLOW_OUT_7_1991	47.50	42.72	0.595
FLOW_OUT_8_1991	31.26	25.16	0.512
FLOW_OUT_9_1991	29.90	22.11	0.404
FLOW_OUT_10_1991	29.39	22.23	0.543
FLOW_OUT_11_1991	72.04	50.21	0.536
FLOW_OUT_12_1991	45.64	41.79	0.536
FLOW_OUT_1_1992	15.95	14.17	0.539
FLOW_OUT_2_1992	14.14	13.56	0.492
FLOW_OUT_3_1992	15.21	13.99	0.581
FLOW_OUT_4_1992	23.19	21.02	0.540
FLOW_OUT_5_1992	36.45	34.18	0.588
FLOW_OUT_6_1992	51.35	42.61	0.409
FLOW_OUT_7_1992	48.59	42.30	0.466
FLOW_OUT_8_1992	52.75	44.29	0.561
FLOW_OUT_9_1992	37.20	35.27	0.519
FLOW_OUT_10_1992	65.75	47.15	0.479
FLOW_OUT_11_1992	81.36	52.84	0.525
FLOW_OUT_12_1992	56.77	45.88	0.579

Nota: Esta tabla relaciona los valores de 1985 a 1992 de los datos de caudal real de la estación limnográfica puente quemado, los datos de caudal simulado y el coeficiente de eficiencia de Nash y Sutcliffe.

A partir de la tabla 22 se obtuvo la figura 28 en la cual se observa el comportamiento en color azul de los caudales reales de la estación limnográfica puente quemado y en color naranja los caudales simulados por la herramienta SWAT-CUP (SWAT Calibration and Uncertainty Procedures), en el periodo de 1985 a 1992. Se visualizan que el comportamiento es muy similar, son embargo, se presentan algunas variaciones en los picos de las series históricas, lo que conlleva a una subestimación de los caudales simulados.

### Figura 28

#### *Calibración Del Modelo De La Microcuenca Sácama*



Nota: Esta figura presenta la calibración del modelo de la Microcuenca Sácama, en el periodo de 1985 a 1992.



## Simulación Del Modelo

La estación limnográfica puente quemado, presenta solamente datos de caudal del periodo 1985 a 1992, razón por la cual no existen datos para efectuar una relación con los datos de caudal simulados con la herramienta SWAT Simulation opción Run SWAT.

Para validar dichos datos se realizaron aforos volumétricos, durante los meses de octubre y noviembre, como se muestra en la figura 29, calculándose caudales de 57.05 [L/s] para el mes de octubre y de 61.51 [L/s] para el mes de noviembre, como se observa en la tabla 22.

### Figura 29

*Mosaico De Los Aforos Volumétricos Del Mes De Octubre Y Noviembre*



Nota: Esta figura presenta un mosaico de fotografías donde se observa la ubicación de una cuerda para tener un soporte para medir el ancho del cauce y para sujetar el valde, que son algunos pasos realizados durante los aforos volumétricos de los meses de octubre y noviembre del año en curso.

**Tabla 22**

*Datos De Caudal Simulado y Aforos, De La Microcuenca Sácama*

	CAUDAL SIMULADO [L/s]	CAUDAL REAL [L/s]	%ERROR
FLOW_OUT_1_2020	18.20		
FLOW_OUT_2_2020	16.20		
FLOW_OUT_3_2020	17.38		
FLOW_OUT_4_2020	26.03		
FLOW_OUT_5_2020	44.37		
FLOW_OUT_6_2020	54.79		
FLOW_OUT_7_2020	42.40		
FLOW_OUT_8_2020	59.92		
FLOW_OUT_9_2020	50.40		
FLOW_OUT_10_2020	57.75	57.05	-1.22
FLOW_OUT_11_2020	61.02	61.51	0.80
FLOW_OUT_12_2020	38.43		

Nota: Esta tabla presenta los datos de caudal simulados para el año 2020 y los datos de los aforos volumétricos del mes de octubre y noviembre, para los cuales se obtuvieron porcentajes de error de -1.22% y de 0.80% respectivamente.

El porcentaje de error de -1.22% para el mes de octubre, representa la sobrestimación de la simulación con respecto al valor de caudal real, esto se debe principalmente a la carencia de información de la Microcuenca Sácama. Por otra parte, para el mes de noviembre se calculó un porcentaje de error de 0.80% siendo óptimo para la relación de caudal simulado con caudal real.

### **Zonas De Potencialidad Hídrica**

Como se mencionó en el capítulo 5 implementación del modelo, apartado de determinación de zonas de potencialidad hídrica, se establecieron las ponderaciones de los elementos biofísicos de Pendiente, Tipo de suelo, Tipo de roca, Cobertura vegetal y Uso del

suelo, según tablas 8 a 12. Con dichas ponderaciones se calculó el valor de la zona de recarga según la ecuación de la figura 4, y con respecto a la tabla 23 se estableció la posibilidad de recarga de cada una de las zonas presentadas en la tabla 24.

### Tabla 23

#### *Potencial De Recarga Hídrica Según El Método Participativo De Matus*

Posibilidad De Recarga	Rango
Muy Alta	4,1 - 5
Alta	3,5 – 4,09
Moderada	2,6 – 3,49
Baja	2 – 2,59
Muy Baja	1 – 1,99

Nota: Esta tabla presenta la clasificación de la posibilidad de recarga para los valores obtenidos con la ecuación del método participativo de Matus. Adaptado de la *Guía Para La Identificación Participativa De Zonas Con Potencial De Recarga Hídrica* [Tabla], por O. Matus, J. Faustino, F. Jiménez, 2009, Google

(<https://www.catie.ac.cr/attachments/article/542/Guia%20Identificacion%20ZRHidrica.pdf>).

**Tabla 24***Ponderaciones Y Posibilidad De Recarga De Las Zonas De La Microcuenca Sácama*

SUB	PEND	Pond	TIPO DE SUELO	Pond	TIPO DE ROCA	Pond	COBERTURA VEGETAL	Pond	USO DEL SUELO	Pond	ZR	POSIBILIDAD DE RECARGA
1	> 65	1	Franco	4	Material de origen coluvial	2	0.13	1	2.3.1. Pastos limpios	3	<b>2.07</b>	<b>Baja</b>
	45-65	2	Franco	4	Material de origen coluvial	2	22.12	1	2.4.4. Mosaico de pastos con espacios naturales	5	<b>2.6</b>	<b>Moderada</b>
	45-65	2	Franco	4	Material de origen coluvial	2	7.29	1	2.3.3. Pastos enmalezados	2	<b>2.21</b>	<b>Baja</b>
	45-65	2	Franco	4	Material de origen coluvial	2	18.96	1	2.4.3. Mosaico de cultivos, pastos y espacios naturales	2	<b>2.21</b>	<b>Baja</b>
	45-65	1	Franco	4	Material de origen coluvial	2	51.50	3	5.1.1. Ríos (50 m)	0	<b>2.18</b>	<b>Baja</b>
2	45-65	2	Franco	4	Material de origen coluvial	2	31.76	2	2.4.4. Mosaico de pastos con espacios naturales	5	<b>2.85</b>	<b>Moderada</b>
	45-65	2	Franco	4	Material de origen coluvial	2	23.56	1	2.3.3. Pastos enmalezados	2	<b>2.21</b>	<b>Baja</b>

	45-65	2	Franco	4	Material de origen coluvial	2	7.53	1	2.4.3. Mosaico de cultivos, pastos y espacios naturales	2	<b>2.21</b>	<b>Baja</b>
	45-65	1	Franco	4	Material de origen coluvial	2	37.16	2	5.1.1. Ríos (50 m)	0	<b>1.93</b>	<b>Muy Baja</b>
	15-45	3	Franco	4	Arenisca	4	3.16	1	2.3.1. Pastos limpios	3	<b>2.85</b>	<b>Moderada</b>
	15-45	3	Franco	4	Arenisca - Material Coluvial	2	17.31	1	2.4.4. Mosaico de pastos con espacios naturales	5	<b>2.87</b>	<b>Moderada</b>
	15-45	1	Franco	4	Zona Urbana	1	0.41	1	1.1.2. Tejido urbano discontinuo	0	<b>1.56</b>	<b>Muy Baja</b>
3	15-45	1	Franco	4	Material Coluvial - Arenisca	2	3.60	1	3.2.3. Vegetación secundaria o en transición	2	<b>1.94</b>	<b>Muy Baja</b>
	15-45	3	Franco	4	Arenisca	4	15.92	1	3.1.3. Bosque fragmentado	5	<b>3.11</b>	<b>Moderada</b>
	15-45	3	Franco Arcilloso Arenoso	2	Areniscas, Arcillolitas, Lutitas	2	2.99	1	3.1.3. Bosque fragmentado	5	<b>2.41</b>	<b>Baja</b>
	15-45	1	Franco	4	Material de origen coluvial	2	3.48	1	2.4.3. Mosaico de cultivos, pastos y espacios naturales	2	<b>1.94</b>	<b>Muy Baja</b>

	0-6	5	Franco	4	Arenisca	4	43.07	2	3.1.1. Bosque denso	5	<b>3.9</b>	<b>Alta</b>
	15-45	3	Franco Arcilloso Arenoso	2	Areniscas, Arcillolitas, Lutitas	2	10.07	1	3.1.1. Bosque denso	5	<b>2.41</b>	<b>Moderada</b>
	15-45	1	Franco	4	Material de origen coluvial	2	3.41	1	2.4.4. Mosaico de pastos con espacios naturales	5	<b>2.33</b>	<b>Baja</b>
	15-45	1	Franco	4	Zona Urbana	1	10.97	1	1.1.2. Tejido urbano discontinuo	0	<b>1.56</b>	<b>Muy Baja</b>
	15-45	2	Franco	4	Material de origen coluvial	2	2.18	1	2.3.3. Pastos enmalezados	2	<b>2.21</b>	<b>Baja</b>
	15-45	2	Franco Arcilloso Arenoso	2	Materiales arcillosos, Lutitas, Areniscas	2	1.10	1	2.3.3. Pastos enmalezados	2	<b>1.75</b>	<b>Muy Baja</b>
4	15-45	2	Franco	4	Material Coluvial - Materiales	2	20.34	1	2.4.3. Mosaico de cultivos, pastos y espacios naturales	2	<b>2.21</b>	<b>Baja</b>
	15-45	2	Franco Arcilloso Arenoso	2	Materiales - Material Coluvial	2	53.78	3	2.4.3. Mosaico de cultivos, pastos y espacios naturales	2	<b>2.25</b>	<b>Baja</b>
	15-45	1	Franco	4	Material de origen coluvial	2	2.26	1	5.1.1. Ríos (50 m)	0	<b>1.68</b>	<b>Muy Baja</b>

	15-45	1	Franco Arcilloso Arenoso	2	Materiales arcillosos, Lutitas, Areniscas	2	5.95	1	5.1.1. Ríos (50 m)	0	<b>1.22</b>	<b>Muy Baja</b>
	15-45	2	Franco	4	Material Coluvial - Arenisca	2	23.53	1	3.2.3. Vegetación secundaria o en transición	2	<b>2.21</b>	<b>Baja</b>
	15-45	1	Franco	4	Material de origen coluvial	2	34.17	2	2.4.3. Mosaico de cultivos, pastos y espacios naturales	2	<b>2.19</b>	<b>Baja</b>
5	15-45	2	Franco Arcilloso Arenoso	2	Materiales arcillosos, Lutitas, Areniscas	2	1.04	1	2.4.3. Mosaico de cultivos, pastos y espacios naturales	2	<b>1.75</b>	<b>Muy Baja</b>
	15-45	2	Franco	4	Material Coluvial - Arenisca	2	5.64	1	3.1.3. Bosque fragmentado	5	<b>2.6</b>	<b>Moderada</b>
	6-15	4	Franco	4	Arenisca - Material Coluvial	2	33.71	2	3.1.1. Bosque denso	5	<b>3.39</b>	<b>Alta</b>
	15-45	1	Franco Arcilloso Arenoso	2	Materiales arcillosos, Lutitas, Areniscas	2	1.91	1	5.1.1. Ríos (50 m)	0	<b>1.22</b>	<b>Muy Baja</b>
6	15-45	2	Franco	4	Material de origen coluvial	2	1.63	1	3.2.3. Vegetación secundaria o en transición	2	<b>2.21</b>	<b>Baja</b>

	15-45	2	Franco Arcilloso Arenoso	2	Materiales arcillosos, Lutitas, Areniscas	2	9.48	1	3.2.3. Vegetación secundaria o en transición	2	<b>1.75</b>	<b>Muy Baja</b>
	15-45	2	Franco	4	Material de origen coluvial	2	6.27	1	2.3.3. Pastos enmalezados	2	<b>2.21</b>	<b>Baja</b>
	15-45	2	Franco Arcilloso Arenoso	2	Materiales arcillosos, Lutitas, Areniscas	2	2.49	1	2.3.3. Pastos enmalezados	2	<b>1.75</b>	<b>Muy Baja</b>
	15-45	2	Franco Arcilloso Arenoso	2	Materiales - Material Coluvial	2	17.43	1	2.4.3. Mosaico de cultivos, pastos y espacios naturales	2	<b>1.75</b>	<b>Muy Baja</b>
	15-45	2	Franco Arcilloso Arenoso	2	Materiales arcillosos, Lutitas, Areniscas	2	2.76	1	3.1.3. Bosque fragmentado	5	<b>2.14</b>	<b>Baja</b>
	6-15	4	Franco	4	Arenisca	4	40.31	2	3.1.1. Bosque denso	5	<b>3.63</b>	<b>Alta</b>
	6-15	3	Franco Arcilloso Arenoso	2	Materiales arcillosos, Lutitas, Areniscas	2	18.56	1	3.1.1. Bosque denso	5	<b>2.41</b>	<b>Baja</b>
	6-15	1	Franco	4	Material de origen coluvial	2	1.07	1	5.1.1. Ríos (50 m)	0	<b>1.68</b>	<b>Muy Baja</b>
7	6-15	2	Franco	4	Material de origen coluvial	2	29.05	1	2.4.3. Mosaico de cultivos, pastos y	2	<b>2.21</b>	<b>Baja</b>



										espacios naturales		
	6-15	2	Franco Arcilloso Arenoso	2	Materiales arcillosos, Lutitas, Areniscas	2	39.89	2	2.4.3. Mosaico de cultivos, pastos y espacios naturales	2	<b>2</b>	<b>Baja</b>
	6-15	3	Franco Arcilloso Arenoso	2	Materiales arcillosos, Lutitas, Areniscas	2	23.72	1	3.1.3. Bosque fragmentado	5	<b>2.41</b>	<b>Baja</b>
	6-15	1	Franco Arcilloso Arenoso	2	Materiales arcillosos, Lutitas, Areniscas	2	7.34	1	5.1.1. Ríos (50 m)	0	<b>1.22</b>	<b>Muy Baja</b>
	6-15	2	Franco	4	Arenisca - Material Coluvial	2	20.67	1	3.1.3. Bosque fragmentado	5	<b>2.6</b>	<b>Moderada</b>
	6-15	2	Franco Arcilloso Arenoso	2	Materiales arcillosos, Lutitas, Areniscas	2	7.08	1	3.1.3. Bosque fragmentado	5	<b>2.14</b>	<b>Baja</b>
8	6-15	3	Franco	4	Material Coluvial - Arenisca	2	6.51	1	2.4.2. Mosaico de pastos y cultivos	2	<b>2.48</b>	<b>Baja</b>
	6-15	2	Franco Arcilloso Arenoso	2	Materiales arcillosos, Lutitas, Areniscas	2	1.94	1	2.4.2. Mosaico de pastos y cultivos	2	<b>1.75</b>	<b>Muy Baja</b>
	0-6	5	Franco	4	Arenisca	4	10.01	1	3.1.1. Bosque denso	5	<b>3.65</b>	<b>Alta</b>

	0-6	5	Franco Arcilloso Arenoso	2	Areniscas, Arcillolitas, Lutitas	2	53.26	3	3.1.1. Bosque denso	5	<b>3.45</b>	<b>Moderada</b>
	0-6	1	Franco Arcilloso Arenoso	2	Materiales arcillosos, Lutitas, Areniscas	2	0.54	1	5.1.1. Ríos (50 m)	0	<b>1.22</b>	<b>Muy Baja</b>
	0-6	3	Franco	4	Material Coluvial - Arenisca	2	14.61	1	3.1.3. Bosque fragmentado	5	<b>2.87</b>	<b>Moderada</b>
	0-6	4	Franco Arcilloso Arenoso	2	Materiales arcillosos, Lutitas, Areniscas	2	43.93	2	3.1.3. Bosque fragmentado	5	<b>2.93</b>	<b>Moderada</b>
	0-6	2	Franco	4	Material de origen coluvial	2	1.13	1	2.4.3. Mosaico de cultivos, pastos y espacios naturales	2	<b>2.21</b>	<b>Baja</b>
9	0-6	2	Franco Arcilloso Arenoso	2	Materiales arcillosos, Lutitas, Areniscas	2	4.77	1	2.4.3. Mosaico de cultivos, pastos y espacios naturales	2	<b>1.75</b>	<b>Muy Baja</b>
	0-6	2	Franco Arcilloso Arenoso	2	Materiales arcillosos, Lutitas, Areniscas	2	19.83	1	2.4.2. Mosaico de pastos y cultivos	2	<b>1.75</b>	<b>Muy Baja</b>
	0-6	5	Franco	4	Arenisca	4	9.50	1	3.1.1. Bosque denso	5	<b>3.65</b>	<b>Alta</b>
	0-6	1	Franco Arcilloso Arenoso	2	Materiales arcillosos,	2	6.23	1	5.1.1. Ríos (50 m)	0	<b>1.22</b>	<b>Muy Baja</b>

Lutitas, Areniscas												
10	0-6	3	Franco	4	Arenisca	4	2.41	1	3.1.3. Bosque fragmentado	5	<b>3.11</b>	<b>Moderada</b>
	0-6	2	Franco Arcilloso Arenoso	2	Materiales arcillosos, Lutitas, Areniscas	2	20.46	1	3.1.3. Bosque fragmentado	5	<b>2.14</b>	<b>Baja</b>
	0-6	2	Franco Arcilloso Arenoso	2	Materiales arcillosos, Lutitas, Areniscas	2	2.33	1	2.4.2. Mosaico de pastos y cultivos	2	<b>1.75</b>	<b>Muy Baja</b>
	0-6	3	Franco	4	Arenisca	4	63.57	3	3.1.1. Bosque denso	5	<b>3.61</b>	<b>Alta</b>
	0-6	4	Franco Arcilloso Arenoso	2	Materiales arcillosos, Lutitas, Areniscas	2	10.32	1	3.1.1. Bosque denso	5	<b>2.68</b>	<b>Moderada</b>
	0-6	1	Franco Arcilloso Arenoso	2	Materiales arcillosos, Lutitas, Areniscas	2	0.92	1	5.1.1. Ríos (50 m)	0	<b>1.22</b>	<b>Muy Baja</b>
11	0-6	2	Franco Arcilloso Arenoso	2	Materiales arcillosos, Lutitas, Areniscas	2	27.80	1	3.1.3. Bosque fragmentado	5	<b>2.14</b>	<b>Baja</b>
	0-6	1	Franco	4	Material de origen coluvial	2	2.11	1	2.4.2. Mosaico de pastos y cultivos	2	<b>1.94</b>	<b>Muy Baja</b>

	0-6	1	Franco Arcilloso Arenoso	2	Materiales arcillosos, Lutitas, Areniscas	2	37.38	2	2.4.2. Mosaico de pastos y cultivos	2	<b>1.73</b>	<b>Muy Baja</b>
	0-6	1	Franco Arcilloso Arenoso	2	Materiales arcillosos, Lutitas, Areniscas	2	32.72	2	5.1.1. Ríos (50 m)	0	<b>1.47</b>	<b>Muy Baja</b>
	0-6	2	Franco Arcilloso Arenoso	2	Materiales arcillosos, Lutitas, Areniscas	2	0.07	1	3.2.3. Vegetación secundaria o en transición	2	<b>1.75</b>	<b>Muy Baja</b>
	0-6	2	Franco	4	Material de origen coluvial	2	3.55	1	3.1.3. Bosque fragmentado	5	<b>2.6</b>	<b>Moderada</b>
	0-6	3	Franco Arcilloso Arenoso	2	Materiales arcillosos, Lutitas, Areniscas	2	12.36	1	3.1.3. Bosque fragmentado	5	<b>2.41</b>	<b>Baja</b>
12	0-6	1	Franco	4	Material de origen coluvial	2	2.59	1	2.4.2. Mosaico de pastos y cultivos	2	<b>1.94</b>	<b>Muy Baja</b>
	0-6	3	Franco	4	Material de origen coluvial	2	4.00	1	3.1.1. Bosque denso	5	<b>2.87</b>	<b>Moderada</b>
	0-6	3	Franco Arcilloso Arenoso	2	Materiales arcillosos, Lutitas, Areniscas	2	71.18	4	3.1.1. Bosque denso	5	<b>3.16</b>	<b>Moderada</b>
	0-6	1	Franco Arcilloso Arenoso	2	Materiales arcillosos, Lutitas, Areniscas	2	0.50	1	5.1.1. Ríos (50 m)	0	<b>1.22</b>	<b>Muy Baja</b>

13	0-6	1	Franco Arcilloso Arenoso	2	Areniscas, Arcillolitas, Lutitas	2	5.75	1	3.2.1. Herbazal	2	<b>1.48</b>	<b>Muy Baja</b>
	0-6	1	Franco	4	Material de origen coluvial	2	8.38	1	3.2.3. Vegetación secundaria o en transición	2	<b>1.94</b>	<b>Muy Baja</b>
	0-6	2	Franco Arcilloso Arenoso	2	Materiales arcillosos, Lutitas, Areniscas	2	6.11	1	3.2.3. Vegetación secundaria o en transición	2	<b>1.75</b>	<b>Muy Baja</b>
	0-6	1	Franco	4	Material de origen coluvial	2	3.95	1	2.3.1. Pastos limpios	3	<b>2.07</b>	<b>Baja</b>
	0-6	1	Franco Arcilloso Arenoso	2	Materiales arcillosos, Lutitas, Areniscas	2	1.41	1	2.3.1. Pastos limpios	3	<b>1.61</b>	<b>Muy Baja</b>
	0-6	3	Franco	4	Arenisca	4	1.48	1	3.1.3. Bosque fragmentado	5	<b>3.11</b>	<b>Moderada</b>
	0-6	2	Franco Arcilloso Arenoso	2	Materiales arcillosos, Lutitas, Areniscas	2	17.95	1	3.1.3. Bosque fragmentado	5	<b>2.14</b>	<b>Baja</b>
	0-6	5	Franco	4	Arenisca	4	21.57	1	3.1.1. Bosque denso	5	<b>3.65</b>	<b>Alta</b>
	0-6	4	Franco Arcilloso Arenoso	2	Materiales - Arenisca	2	38.28	2	3.1.1. Bosque denso	5	<b>2.93</b>	<b>Moderada</b>
	0-6	1	Franco Arcilloso Arenoso	2	Materiales arcillosos, Lutitas, Areniscas	2	0.87	1	5.1.1. Ríos (50 m)	0	<b>1.22</b>	<b>Muy Baja</b>

14	0-6	2	Franco	4	Material de origen coluvial	2	10.21	1	3.2.3. Vegetación secundaria o en transición	2	<b>2.21</b>	<b>Baja</b>
	0-6	1	Franco Arcilloso Arenoso	2	Materiales arcillosos, Lutitas, Areniscas	2	2.60	1	3.2.3. Vegetación secundaria o en transición	2	<b>1.48</b>	<b>Muy Baja</b>
	0-6	1	Franco	4	Material de origen coluvial	2	3.69	1	2.3.1. Pastos limpios	3	<b>2.07</b>	<b>Baja</b>
	0-6	2	Franco	4	Material de origen coluvial	2	17.89	1	3.1.3. Bosque fragmentado	5	<b>2.6</b>	<b>Moderada</b>
	0-6	2	Franco Arcilloso Arenoso	2	Materiales arcillosos, Lutitas, Areniscas	2	10.31	1	3.1.3. Bosque fragmentado	5	<b>2.14</b>	<b>Baja</b>
	0-6	3	Franco	4	Materiales - Material Coluvial	2	2.58	1	3.1.1. Bosque denso	5	<b>2.87</b>	<b>Moderada</b>
	0-6	3	Franco Arcilloso Arenoso	2	Materiales - Material Coluvial	2	52.72	3	3.1.1. Bosque denso	5	<b>2.91</b>	<b>Moderada</b>
15	0-6	1	Franco Arcilloso Arenoso	2	Materiales arcillosos, Lutitas, Areniscas	2	0.03	1	3.2.3. Vegetación secundaria o en transición	2	<b>1.48</b>	<b>Muy Baja</b>
	0-6	2	Franco Arcilloso Arenoso	2	Materiales arcillosos, Lutitas, Areniscas	2	19.50	1	3.1.3. Bosque fragmentado	5	<b>2.14</b>	<b>Baja</b>
	0-6	3	Franco	4	Arenisca	4	3.21	1	3.1.1. Bosque denso	5	<b>3.11</b>	<b>Moderada</b>

	0-6	5	Franco Arcilloso Arenoso	2	Materiales - Arenisca	2	77.26	4	3.1.1. Bosque denso	5	<b>3.7</b>	<b>Alta</b>
	0-6	4	Franco	4	Arenisca	4	42.90	2	3.1.1. Bosque denso	5	<b>3.63</b>	<b>Alta</b>
16	0-6	3	Franco Arcilloso Arenoso	2	Materiales arcillosos, Lutitas, Areniscas	2	57.10	3	3.1.1. Bosque denso	5	<b>2.91</b>	<b>Moderada</b>
	0-6	3	Franco Arcilloso Arenoso	2	Materiales arcillosos, Lutitas, Areniscas	2	74.49	4	3.1.1. Bosque denso	5	<b>3.16</b>	<b>Moderada</b>
17	0-6	1	Franco Arcilloso Arenoso	2	Areniscas, Arcillolitas, Lutitas	2	25.51	1	3.2.1. Herbazal	2	<b>1.48</b>	<b>Muy Baja</b>
	0-6	2	Franco	4	Material de origen coluvial	2	8.86	1	3.1.3. Bosque fragmentado	5	<b>2.6</b>	<b>Moderada</b>
	0-6	2	Franco Arcilloso Arenoso	2	Materiales arcillosos, Lutitas, Areniscas	2	2.52	1	3.1.3. Bosque fragmentado	5	<b>2.14</b>	<b>Baja</b>
18	0-6	3	Franco	4	Material de origen coluvial	2	9.03	1	3.1.1. Bosque denso	5	<b>2.87</b>	<b>Moderada</b>
	0-6	3	Franco Arcilloso Arenoso	2	Materiales arcillosos, Lutitas, Areniscas	2	79.60	4	3.1.1. Bosque denso	5	<b>3.16</b>	<b>Moderada</b>
19	0-6	3	Franco Arcilloso Arenoso	2	Areniscas, Arcillolitas, Lutitas		33.98	2	3.1.1. Bosque denso	5	<b>2.42</b>	<b>Baja</b>

	0-6	1	Franco Arcilloso Arenoso	2	Areniscas, Lutitas	2	66.02	3	3.2.1. Herbazal	2	<b>1.98</b>	<b>Muy Baja</b>
20	0-6	3	Franco	4	Material de origen coluvial	2	11.93	1	3.1.1. Bosque denso	5	<b>2.87</b>	<b>Moderada</b>
	0-6	3	Franco Arcilloso Arenoso	2	Materiales arcillosos, Lutitas, Areniscas	2	88.07	5	3.1.1. Bosque denso	5	<b>3.41</b>	<b>Moderada</b>
	0-6	2	Franco	4	Material de origen coluvial	2	6.10	1	3.1.3. Bosque fragmentado	5	<b>2.6</b>	<b>Moderada</b>
	0-6	2	Franco Arcilloso Arenoso	2	Materiales arcillosos, Lutitas, Areniscas	2	4.99	1	3.1.3. Bosque fragmentado	5	<b>2.14</b>	<b>Baja</b>
21	0-6	4	Franco	4	Arenisca	4	11.09	1	3.1.1. Bosque denso	5	<b>3.38</b>	<b>Moderada</b>
	0-6	5	Franco Arcilloso Arenoso	2	Materiales arcillosos, Lutitas, Areniscas	2	77.82	4	3.1.1. Bosque denso	5	<b>3.7</b>	<b>Alta</b>
22	6-15	4	Franco	4	Arenisca	4	19.50	1	3.1.1. Bosque denso	5	<b>3.38</b>	<b>Moderada</b>
	6-15	4	Franco Arcilloso Arenoso	2	Materiales arcillosos, Lutitas, Areniscas	2	80.50	5	3.1.1. Bosque denso	5	<b>3.68</b>	<b>Alta</b>
23	15-45	3	Franco Arcilloso Arenoso	2	Materiales arcillosos, Lutitas, Areniscas	2	90.68	5	3.1.1. Bosque denso	5	<b>3.41</b>	<b>Moderada</b>



45-65	2	Franco Arcilloso Arenoso	2	Areniscas, Lutitas	2	9.32	1	3.2.1. Herbazal	2	<b>1.75</b>	<b>Muy Baja</b>
-------	---	--------------------------------	---	-----------------------	---	------	---	--------------------	---	-------------	-----------------

Nota: Esta tabla presenta las ponderaciones de los elementos biofísicos de Pendiente, Tipo de suelo, Tipo de roca, Cobertura vegetal y Uso del suelo, de cada subcuenca de la Microcuenca Sácama.

En la tabla 24 se observa que se presentan zonas de alta posibilidad de recarga en las subcuencas 3,5,6,8,9,10,13,15,16,21 y 22. Estas zonas muestran características comunes que favorecen la infiltración del agua en el suelo, como pendiente plana o moderadamente ondulada, rocas permeables (areniscas) y uso del suelo de bosque denso, ya que estas disminuyen la escorrentía superficial que a su vez aumentan el tiempo de contacto y la infiltración del agua en el suelo.

Por otra parte, para las áreas de moderada posibilidad se podrían implementar proyectos de educación ambiental que fortalezcan el conocimiento de la población en cuanto al manejo sustentable del recurso hídrico, y la importancia de la preservación de estas zonas. Además, se pueden efectuar proyectos de restauración, tecnología limpia, saneamiento básico, entre otros, que permitan mejorar la capacidad de recarga hídrica de estas zonas.

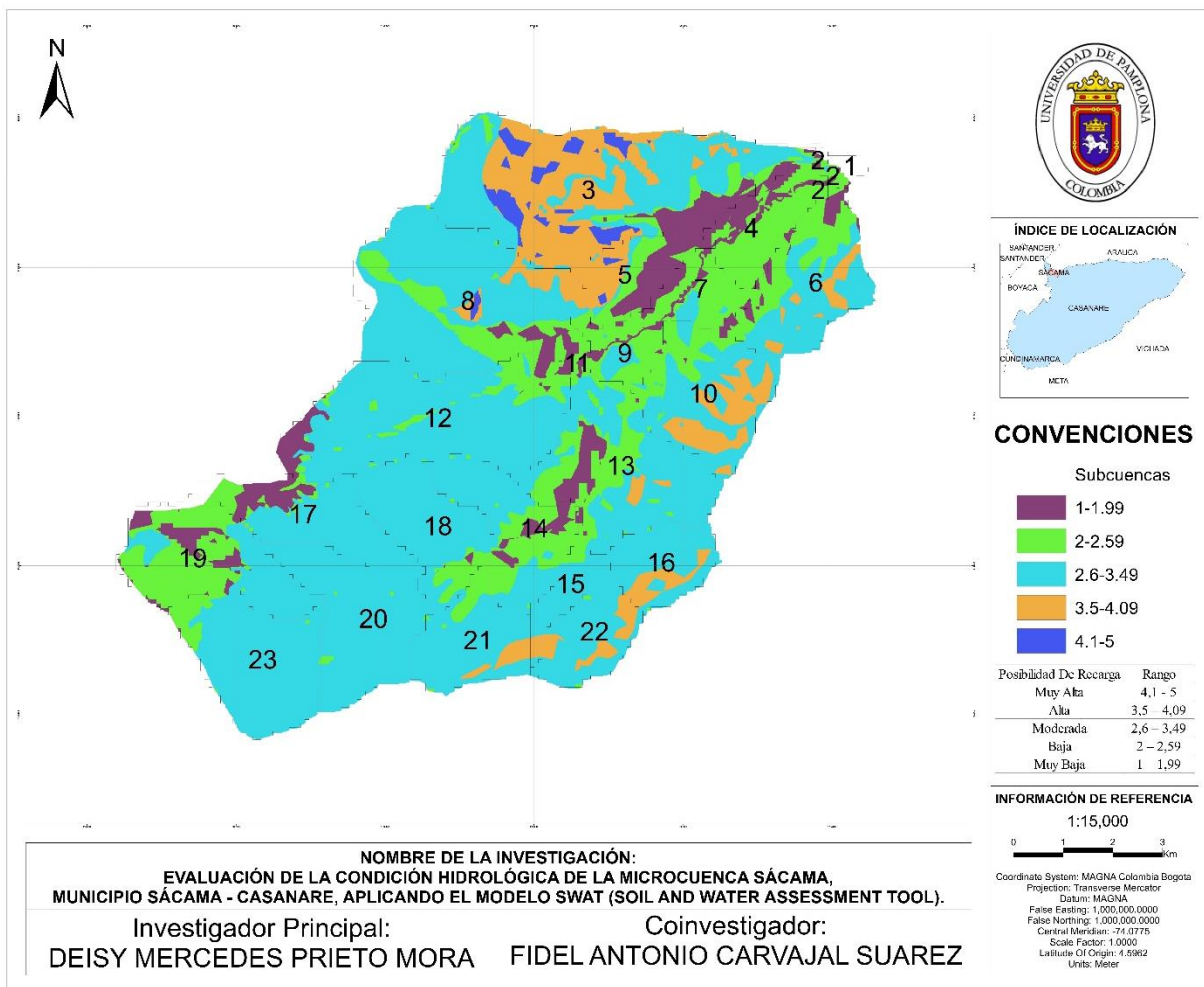
Para validar los resultados del método participativo de Matus se elaboró un mapa de las zonas de potencialidad hídrica de la Microcuenca Sácama, a través de un procedimiento más técnico como es la sobreposición de unidades de mapeo utilizando ArcGis.

El mapa de la figura 30 muestra que en la Microcuenca se dan las cinco categorías de posibilidad de recarga hídrica, aunque predomina la posibilidad moderada (61,02%), seguida por una alta posibilidad de ocurrencia de recarga (20,25%), baja posibilidad (10,10%), muy alta posibilidad (7,35%) y muy baja posibilidad (1,27%). En consecuencia, por sus características físicas la subcuenca se clasifica como buena para que ocurra la recarga hídrica o la infiltración del agua en el suelo, ya que el 81,27% del área total se ubica en las categorías de moderada y alta posibilidad de ocurrencia de recarga hídrica. Dicho de otra manera, la cantidad de agua que se precipita y queda disponible en la Microcuenca Sácama tiene de moderadas a altas posibilidades de que se infiltre y recargue los acuíferos.

Al comparar las zonas potenciales de recarga hídrica de la tabla 24, con la clasificación del potencial de recarga asignado por el mapa de potencialidad hídrica de la figura 30, se observa que se presenta una inconsistencia del 20% ya que la tabla 24 no asignó ninguna zona de posibilidad de recarga alta, mientras que la figura 30 presenta un 7,35% del área total en zonas de esta clasificación. Esta inconsistencia se debe a que los resultados de la tabla 24, están sujetos a la perspectiva de los actores locales, que no son 100% precisos, pero son una aproximación muy cercana como se observa en la figura 30.

**Figura 30**

*Mapa De Las Zonas De Potencialidad Hídrica De La Microcuenca Sácama*



Nota: Este mapa presenta la validación de las zonas de potencialidad hídrica de la Microcuenca Sácama, realizada por superposición de capas en ArcGis.

**Capas Temáticas**

Para verificar que la información de las capas temáticas (Cobertura De La Tierra, Suelo Del Territorio Colombiano, y Litología) que se utilizaron en el desarrollo de la presente investigación es real, se realizaron diversas visitas de campo, donde se efectuaron recorridos por

el área de estudio, evaluando visualmente cada polígono de las capas. Se tomaron fotografías y puntos con GPS que permitieron identificar y corroborar la información.

### ***Validación Cobertura De La Tierra De La Microcuenca Sácama***

La tabla de atributos de la Cobertura De La Tierra De La Microcuenca Sácama, presenta una clasificación de 10 tipos de cobertura de los cuales se tomaron 9 puntos que se muestran en la tabla 25, en estos puntos se tomaron fotografías a partir de los cuales se comparó la información obteniéndose un 80% de coincidencia de la cobertura.

El 20% de inconsistencia se presenta debido a que la clasificación de “Herbazal” no pudo ser validada porque el acceso a la zona está limitado, ya que actualmente no existen caminos a esta parte de la Microcuenca Sácama. Por otra parte, la clasificación de “Pastos Limpios” no coincide ya que en la zona se presentan es pastos enmalezados y herbazales como los que se observan en la figura 32.

### **Tabla 25**

#### *Coordenadas Puntos De Verificación De La Cobertura De La Tierra*

1.1.2. Tejido urbano discontinuo							
LATITUD	6	5	58.5	LONGITUD	72	14	55.4
2.3.1. Pastos limpios							
LATITUD	6	6	12.8	LONGITUD	72	15	3.4
2.3.3. Pastos enmalezados							
LATITUD	6	5	45.5	LONGITUD	72	14	8.7
2.4.2. Mosaico de pastos y cultivos							
LATITUD	6	4	14	LONGITUD	72	15	55.9
2.4.3. Mosaico de cultivos, pastos y espacios naturales							
LATITUD	6	5	38.9	LONGITUD	72	14	19.6
2.4.4. Mosaico de pastos con espacios naturales							
LATITUD	6	5	57.9	LONGITUD	72	15	14.5
3.1.1. Bosque denso							

LATITUD	6	4	53.1	LONGITUD	72	16	24.6
3.1.3. Bosque fragmentado							
LATITUD	6	4	35.3	LONGITUD	72	15	43.9
3.2.3. Vegetación secundaria o en transición							
LATITUD	6	5	27.1	LONGITUD	72	14	5.8

Nota: Esta tabla presenta las coordenadas de los puntos de verificación de la cobertura de la tierra de la Microcuenca Sácama.

A continuación, se presentan las fotografías de los 9 puntos de verificación de la cobertura de la tierra de la Microcuenca Sácama.

### **Figura 31**

#### *Tejido Urbano Discontinuo*



Nota: Esta figura presenta el tejido urbano discontinuo de la Microcuenca Sácama, en donde se visualiza que las edificaciones, las vías y las zonas verdes están de manera dispersa y discontinua.



**Figura 32***Pastos Enmalezados Y Herbazales*

Nota: Esta figura presenta la zona de pastos limpios de la Microcuenca Sácama, sin embargo, esta clasificación no coincide ya que en la zona se visualizan pastos enmalezados y herbazales.

**Figura 33***Pastos Enmalezados*

Nota: Esta figura presenta los pastos enmalezados de la Microcuenca Sácama, en este tipo de zonas se evidencian las escasas prácticas de manejo o la ocurrencia de procesos de abandono.

**Figura 34***Mosaico De Pastos Y Cultivos*

Nota: Esta figura presenta un mosaico de pastos y cultivos de la Microcuenca Sácama, en el cual el tamaño del cultivo es pequeño (inferior a 1 ha) y el patrón de distribución de los lotes es demasiado intrincado para representarlos cartográficamente de manera individual.

**Figura 35***Mosaico De Cultivos, Pastos Y Espacios Naturales*

Nota: Esta figura presenta un mosaico de cultivos, pastos y espacios naturales de la Microcuenca Sácama, en donde el patrón de distribución de las coberturas no puede ser representado



individualmente. Las áreas de cultivos y pastos ocupan entre 30% y 70% de la superficie total de la unidad.

### **Figura 36**

#### *Mosaico De Pastos Con Espacios Naturales*



Nota: Esta figura presenta un mosaico de pastos y espacios naturales de la Microcuenca Sácama, en donde el patrón de distribución de las zonas de pastos y de espacios naturales no puede ser representado individualmente y las parcelas de pastos representan entre 30% y 70% de la superficie total del mosaico.

### **Figura 37**

#### *Bosque Denso*





Nota: Esta figura presenta una parte del bosque denso de la Microcuenca Sácama, este bosque está constituido por una comunidad vegetal dominada por elementos típicamente arbóreos, los cuales forman un estrato de copas más o menos continuo cuya área de cobertura representa más del 70% del área total de la unidad, y con altura del dosel superior a 5 m.

### **Figura 38**

#### *Bosque Fragmentado*



Nota: Esta figura presenta una parte del bosque fragmentado de la Microcuenca Sácama, este bosque está afectado por la inclusión de otros tipos de coberturas como pasto, cultivos o vegetación en transición, las cuales deben representar entre 5% y 30% del área total del bosque.

**Figura 39***Vegetación Secundaria O En Transición*

Nota: Esta ilustración presenta una parte de la vegetación secundaria o en transición de la Microcuenca Sácama, que comprende aquella cobertura vegetal originada por el proceso de sucesión de la vegetación natural que se presenta luego de la intervención o por la destrucción de la vegetación primaria.

Los resultados de las validaciones del suelo del territorio colombiano y litología de la Microcuenca Sácama mencionados a continuación, fueron aprobados por el Geólogo Jhan Carlos Barbosa Cepeda, egresado de la Universidad Nacional de Colombia, con matrícula profesional 4846 del CPG (Consejo Profesional de Geología).

***Validación Suelo Del Territorio Colombiano De La Microcuenca Sácama***

Del Triángulo Textural De USDA, se obtuvo que en la Microcuenca Sácama se presentan los tipos de suelo Franco y Franco Arcilloso Arenoso. Para la verificación del suelo del territorio colombiano de la Microcuenca Sácama, se tomaron 4 puntos que se muestran en la tabla 26, en estos puntos se tomaron muestras de suelo, a las cuales se le realizaron la prueba de la bola de barro, la prueba de manipulación y la prueba de la botella.

**Tabla 26***Coordenadas Puntos De Verificación del Suelo Del Territorio Colombiano*

Franco Punto 1							
LATITUD	6	5	44.9	LONGITUD	72	15	44.1
Franco Punto 2							
LATITUD	6	4	53.1	LONGITUD	72	16	24.6
Franco Arcilloso Arenoso Punto 1							
LATITUD	6	5	39.4	LONGITUD	72	14	18.8
Franco Arcilloso Arenoso Punto 2							
LATITUD	6	4	14	LONGITUD	72	15	55.9

Nota: Esta tabla presenta las coordenadas de los puntos de verificación del suelo del territorio colombiano de la Microcuenca Sácama.

A continuación, se describe el procedimiento de la prueba de la bola de barro, la prueba de manipulación y la prueba de la botella, para determinar la textura de las muestras de suelo y así poder conocer el porcentaje de consistencia de la información del suelo del territorio colombiano.

**Prueba De La Bola De Barro.** Para esta prueba inicialmente se tomó una muestra de suelo, se humedeció y se amasó hasta que adquirió consistencia. Luego se frotó entre el pulgar y el índice y se moldeó una bola de barro de 3 cm de diámetro, como se muestra en la figura 40.

Las muestras del punto 1 y 2 al ser lanzadas contra la pared se mantuvieron compactadas, pero no se adhirieron a la pared, por lo que se clasificaron dentro de la textura media, como se muestra en la figura 41. Por otra parte, las muestras del punto 3 y 4 al ser lanzadas contra la pared mantuvieron su forma y se adhirieron a la pared, pero se pudieron despegar con relativa

facilidad, por lo que se clasificaron dentro de la textura moderadamente fina, como se muestra en la figura 42.

### **Figura 40**

*Bola De Barro De 3 cm*



Nota: Esta figura presenta una bola de barro de 3 cm, que se utilizó para la prueba de la bola de barro y la prueba de manipulación.

### **Figura 41**

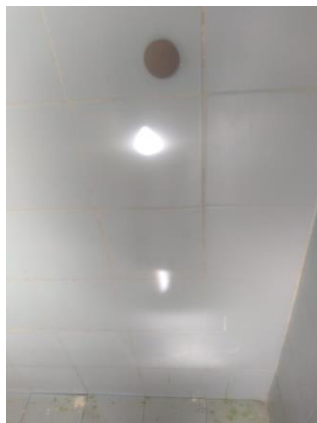
*Bola De Barro De Textura Media*



Nota: Esta figura presenta el resultado de lanzar la bola de barro contra la pared, obteniéndose que la textura es media.

### **Figura 42**

*Bola De Barro Textura Moderadamente Fina*



Nota: Esta figura presenta el resultado de lanzar la bola de barro contra la pared, obteniéndose que la textura es moderadamente media.

**Prueba De Manipulación.** Para esta prueba inicialmente se tomó una muestra de suelo, se humedeció y se amasó hasta que sus partículas empezaron a unirse, pero sin que se adhirieran a la mano, hasta que se formó una bola de barro de 3 cm de diámetro, como se muestra en la figura 40.

Las muestras del punto 1 y 2 se dejaron caer y mantuvieron su cohesión, por lo que luego se amasó la bola en forma de un cilindro de 6 a 7 cm de longitud, como se conservó se alargó hasta los 15 a 16 cm de longitud, como no se deformó se dobló el cilindro hasta formar un semicírculo, pero este creó unas grietas que permitieron clasificar el suelo como franco, como se muestra en la figura 43. Por otra parte, para las muestras 3 y 4 se efectuó el mismo procedimiento, pero en este caso la muestra presentó grietas cuando se realizó el cilindro de 15 a

16 cm de longitud, por lo que se clasificó como un suelo franco arenoso, como se muestra en la figura 44.

### **Figura 43**

*Semicírculo De Las Muestras De Los Muestras 1 Y 2*



Nota: Esta figura presenta el resultado de la prueba de manipulación de las muestras 1 y 2, con el que se obtuvo un suelo de clase textural franco.

### **Figura 44**

*Cilindro De 15 A 16 cm De Longitud De Las Muestras 3 Y 4*



Nota: Esta figura presenta el resultado de la prueba de manipulación de las muestras 3 y 4, con el que se obtuvo un suelo de clase textural franco arenoso.

**Prueba De La Botella.** Para esta prueba se tomaron 5 cm de cada una de las muestras de suelo y se colocaron en un frasco de vidrio, luego se llenó de agua y se agitó muy bien, después se dejó reposar durante una hora y finalmente se calcularon los porcentajes de arena, limo y arcilla de cada muestra, obteniéndose como resultado que las muestras 1 y 2 son suelo de clase textural franco, como se observa en la figura 45, y las muestras 3 y 4 son suelo de la clase textural franco arcilloso arenoso, como se muestra en la figura 46.

#### **Figura 45**

##### *Prueba De La Botella Muestras 1 Y 2*



Nota: Esta figura presenta el resultado de la prueba de la botella de las muestras 1 y 2, obteniendo 51.67% de arena, 39.34% de limo y 8.20% de arcilla, clasificándose como suelo de clase textural franco.

## Figura 46

### *Prueba De La Botella Muestras 3 Y 4*



Nota: Esta figura presenta el resultado de la prueba de la botella de las muestras 3 y 4, obteniendo 41.67% de arena, 38.33% de limo y 20.00% de arcilla, clasificándose como suelo de clase textural franco arcilloso arenoso.

### ***Validación Litología De La Microcuenca Sácama***

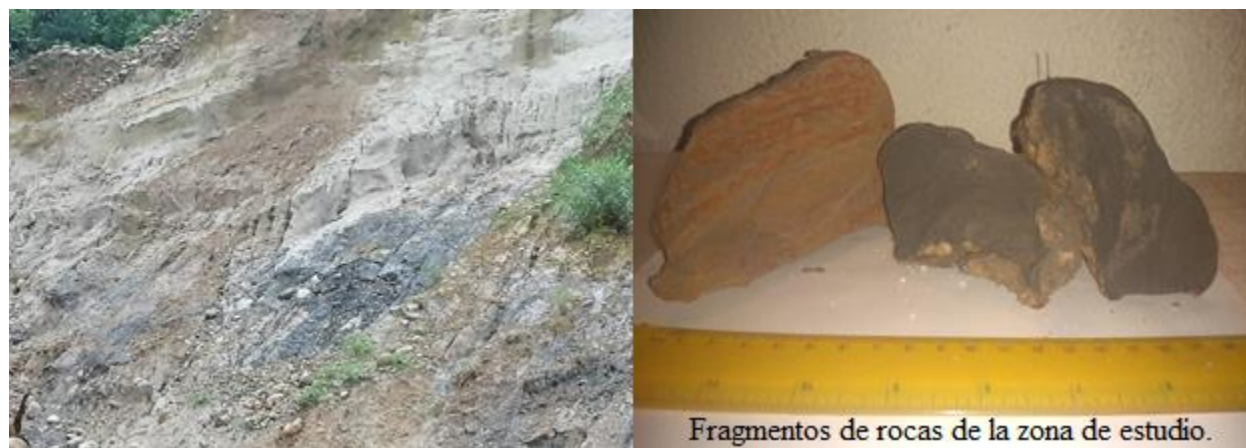
La tabla de atributos del Suelo Del Territorio Colombiano De La Microcuenca Sácama, presenta una clasificación de 6 tipo de litología de los cuales se tomaron 4 puntos que se muestran en la tabla 28, en estos puntos se tomaron fotografías a partir de los cuales se comparó la información obteniéndose un 80% de coincidencia de la cobertura. El 20% de inconsistencia se presenta debido a que la clasificación de “Areniscas, Lulitas” y “Areniscas, Arcillolitas, Lulitas” no pudieron ser validadas porque el acceso a la zona está limitado, ya que actualmente no existen caminos a esta parte de la Microcuenca Sácama. A continuación, se presenta la tabla 28 y las fotografías de los 4 puntos de verificación de la litología de la Microcuenca Sácama.



**Tabla 27***Coordenadas Puntos De Verificación De La Litología*

Materiales Arcillosos, Lulitas, Areniscas							
LATITUD	6	5	37.9	LONGITUD	72	14	17.1
Materiales de Origen Coluvial Heterométrico con Matriz Gruesa							
LATITUD	6	5	18.7	LONGITUD	72	15	37.8
Areniscas							
LATITUD	6	5	42.4	LONGITUD	72	16	20
Zona Urbana							
LATITUD	6	5	58.5	LONGITUD	72	14	55.4

Nota: Esta tabla presenta las coordenadas de los puntos de verificación de la litología de la Microcuenca Sácama.

**Figura 47***Materiales Arcillosos, Lulitas, Areniscas*

Nota: En esta figura en la parte izquierda se puede visualizar una zona de materiales arcillosos, lulitas y areniscas de la Microcuenca Sácama. Esta litología se presenta en el tipo de suelo Franco Arcilloso Arenoso, lo que concuerda con que en esta zona se presentan materiales

arcillosos. Adicionalmente se tomaron muestras de rocas como se muestra en la parte derecha, que pertenecen al grupo de lulitas que se componen principalmente de minerales arcillosos.

### **Figura 48**

*Materiales de Origen Coluvial Heterométrico con Matriz Gruesa*



Nota: En esta figura se puede visualizar una zona de materiales de origen coluvial heterométrico con matriz gruesa, de la Microcuenca Sácama. Que es producto de la alteración y desprendimiento in situ del macizo rocoso de la ladera, que está conformado por masas inestables de gravas.

### **Figura 49**

*Areniscas*



Nota: En esta figura se pueden visualizar muestras de areniscas, de la Microcuenca Sácama. Estas rocas son detríticas compuestas por partículas de 2 mm a 1/16 mm. Se reconocen porque su aspecto es el de una arena de playa cuyos granos están cementados, y su tacto es áspero y recuerda al de la lija.

## **Figura 50**

### *Zona Urbana*



Nota: Esta figura presenta la zona urbana de la Microcuenca Sácama, en donde se visualizan las edificaciones, las vías y las zonas verdes.

## **Publicación De Resultados**

Por la situación actual de salud no se pueden realizar aglomeraciones, por lo que la divulgación de los resultados de la investigación se realizara en el mes de diciembre del año 2020 con la colaboración de los líderes comunitarios, quienes difundirán la información en sus círculos más cercanos. Adicionalmente, se creó un blog en WordPress en el sitio web “<https://chechi900.wordpress.com/2020/>”, en donde se efectuó la publicación de un folleto, un póster y los mapas de la evaluación piloto del estado hidrológico actual de la Microcuenca Sácama, Municipio Sácama – Casanare, aplicando el modelo SWAT (Soil And Water Assessment Tool).

## Conclusiones

La recopilación y el procesamiento de la información temática del área de estudio de acuerdo a los formatos requeridos por el modelo SWAT (Soil and Water Assessment Tool), es uno de los pilares más importante de la investigación, debido a que el programa demanda cantidad y calidad de información, siendo esto proporcional a la validez de los resultados.

Con respecto a las URH (Unidades De Respuesta Hidrológica), que conforma el modelo SWAT (Soil and Water Assessment Tool), se lograron identificar 484, las cuales se distribuyen en toda el área de la unidad hidrológica, mostrando una relación directa con la homologación de la cobertura de la tierra.

Con los datos obtenidos en la calibración se llega a la conclusión que el modelo de simulación SWAT (Soil And Water Assessment Tool), se puede implementar como una buena aproximación a la realidad del área de estudio de la Microcuenca Sácama y podría ser considerado como una línea base de la cuantificación de los recursos hídricos en el área.

Con la aplicación del método participativo de Matus, se puede analizar que este tipo de metodologías simples y de bajos requerimientos económicos, son herramientas valiosas, aún si no son científicamente rigurosas. Ya que como se observa en esta investigación el método permitió clasificar la posibilidad de recarga de las diversas zonas de la Microcuenca Sácama, y de este modo, implementar estrategias apropiadas para el manejo sustentable del recurso hídrico.

## Recomendaciones

Es recomendable utilizar el modelo en otras Microcuencas del municipio, departamento o país, para comparar sus resultados y observar el comportamiento del modelo, debido a que como es un modelo desarrollado para Estados Unidos, algunas de sus funciones deben ser homologadas para adaptarlas a los requerimientos del modelo.

Se recomienda la instalación de nuevas estaciones meteorológicas completas en el municipio, como también un plan de mantenimiento continuo para la estación pluviométrica Puente Quemado [36020010], con el propósito de generar series históricas consistentes.

La curva hipsométrica de la Microcuenca Sácama se encuentra en fase de equilibrio o etapa de madurez, lo que implica que esta área no presenta gran potencial erosivo, sin embargo, se recomienda implementar técnicas de estabilización y recubrimiento.

En cuanto a las zonas de potencialidad hídrica se recomienda implementar proyectos de educación ambiental que fortalezcan el conocimiento de la población en cuanto al manejo sustentable del recurso hídrico, y la importancia de la preservación de estas zonas. Además, de efectuar proyectos de restauración, tecnología limpia, saneamiento básico, entre otros, que permitan mejorar la capacidad de recarga hídrica de estas zonas.

## Referencias

- Alcaldía Municipal Sácama. (2016). *PLAN DE DESARROLLO*. Obtenido de [http://sacamacasanare.micolombiadigital.gov.co/sites/sacamacasanare/content/files/000021/1038\\_plan-de-desarrollo-sacama-20162019.pdf](http://sacamacasanare.micolombiadigital.gov.co/sites/sacamacasanare/content/files/000021/1038_plan-de-desarrollo-sacama-20162019.pdf)
- Artoga Quiroz, T. (27 de Octubre de 2011). *SIMULACIÓN HIDROLÓGICA DE LA CUENCA DEL RIO AMAJAC, ESTADO DE HIDALGO APLICANDO EL MODELO SWAT*. Obtenido de Proyecto de investigación para optar el título de Maestro en Ciencias en Hidráulica. México DF. Instituto Politécnico Nacional. Secretaria de Investigación y Posgrado. Escuela Superior de Ingeniería y Arquitectura U. Zac.: <https://tesis.ipn.mx/bitstream/handle/123456789/11346/373.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- Ayivi, F., & Jha, M. (29 de Marzo de 2018). *Estimation of water balance and water yield in the Reedy Fork-Buffalo Creek Watershed in North Carolina using SWAT*. Obtenido de Department of Government and History, Fayetteville State University, NC, USA & Civil, Architectural and Environmental Engineering Department, North Carolina Agricultural and Technical University, NC, USA: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2095633917302411>
- Baquero Ureña, A. (Mayo de 2015). *MODELACIÓN HIDROLÓGICA EN LAS CUENCAS SAN JERÓNIMO PIEDRAS, RÍO BLANCO Y TENORIO USANDO SWAT*. Obtenido de Proyecto de investigación para optar el título de Licenciatura en Ingeniería Agrícola. Costa Rica. Universidad de Costa Rica. Facultad de Ingeniería. Escuela de Ingeniería Agrícola: <http://repositorio.sibdi.ucr.ac.cr:8080/jspui/bitstream/123456789/4501/1/38245.pdf>
- Duque, A. (Agosto de 1993). *ESTUDIO DE EVAPOTRANSPIRACIÓN POR LOS MODELOS DE PENMAN Y PENNAN MONTEY EN LA CUENCA DE PIEDRAS BLANCAS, ANTIOQUIA*. Obtenido de <https://repositorio.escuelaing.edu.co/bitstream/001/376/1/Urrutia%20Rivas%2c%20Maril%20in%20Ang%c3%a9lica%20-%202016.pdf>

- Ghoraba, S. (14 de Junio de 2015). *Hydrological modeling of the Simly Dam watershed (Pakistan) using GIS and SWAT model*. Obtenido de Irrigation and Hydraulics Engineering Department, Faculty of Engineering, Tanta University, Egypt:  
<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1110016815000903>
- Hernández Guerra, D. (2015). *ESTIMACIÓN DE LOS PARÁMETROS MORFOMÉTRICOS Y LAS UNIDADES DE RESPUESTA HIDROLÓGICA DE LA CUENCA DEL RÍO RÁQUIRA DEPARTAMENTO DE BOYACÁ A TRAVÉS DEL PROGRAMA SWAT*. Obtenido de Proyecto de investigación para optar el título de especialista en Recursos Hídricos. Bogotá DC. Facultad De Ingeniería. Programa De Especialización En Recursos Hídricos:  
[https://repository.ucatolica.edu.co/bitstream/10983/2352/1/Trabajo\\_Grado\\_Cuenca\\_Raquira.pdf](https://repository.ucatolica.edu.co/bitstream/10983/2352/1/Trabajo_Grado_Cuenca_Raquira.pdf)
- Ministerio De Ambiente Y Desarrollo Sostenible. (2020). *POMCAS APROBADOS, LISTADO MADS*. Obtenido de <https://www.datos.gov.co/Ambiente-y-Desarrollo-Sostenible/POMCAS-aprobados-Listado-MADS/fgzy-mdzy>
- Montecelos Zamora, Y. (2018). *MODELACIÓN DEL EFECTO DE LA VARIACIÓN CLIMÁTICA EN EL BALANCE HÍDRICO EN DOS CUENCAS (MÉXICO Y CUBA) BAJO UN ESCENARIO DE CAMBIO CLIMÁTICO*. Obtenido de Proyecto de investigación para optar el título de Doctor en Ciencias de la Tierra con Orientación en Geociencias Ambientales. Ensenada, Baja California, México. Centro de Investigación Científica y de Educación Superior de Ensenada:  
[https://cicese.repositorioinstitucional.mx/jspui/bitstream/1007/2531/1/tesis\\_Montecelos%20Zamora\\_Yalina\\_26\\_oct\\_2018.pdf](https://cicese.repositorioinstitucional.mx/jspui/bitstream/1007/2531/1/tesis_Montecelos%20Zamora_Yalina_26_oct_2018.pdf)
- Pajarito Grajales, X. (2017). *IMPLEMENTACIÓN DEL MODELO HIDROLÓGICO SWAT, COMO HERRAMIENTA PARA EL MANEJO DEL RECURSO HÍDRICO EN LA UNIDAD HIDROLÓGICA RIO HACHA – FLORENCIA CAQUETÁ*. Obtenido de Proyecto de investigación para optar el título de Ingeniero Ambiental. Bogotá DC. Universidad Nacional Abierta y a Distancia. Escuela de Ciencias Agrícolas, Pecuarias y del Medio Ambiental:

<https://stadium.unad.edu.co/preview/UNAD.php?url=/bitstream/10596/13646/1/1018437315.pdf>

Sácama SA ESP. (Agosto de 2017). *PROGRAMA DE USO EFICIENTE Y AHORRO DE AGUA DEL MUNICIPIO DE SÁCAMA, DEPARTAMENTO DE CASANARE*. Obtenido de [https://sacamacasanare.micolombiadigital.gov.co/sites/sacamacasanare/content/files/000190/9453\\_pueaa-sacama.pdf](https://sacamacasanare.micolombiadigital.gov.co/sites/sacamacasanare/content/files/000190/9453_pueaa-sacama.pdf)

Uribe, N. (20 de Abril de 2010). *CONCEPTOS BÁSICOS Y GUÍA RÁPIDA PARA EL USUARIO VERSIÓN SWAT2005*. Obtenido de <https://swat.tamu.edu/media/46967/swat2005-tutorial-spanish.pdf>

Urrutia Rivas, M. (3 de Febrero de 2016). *APLICACIÓN DEL MODELO SWAT PARA LA SIMULACIÓN DEL CICLO HIDROLÓGICO DE LA CUENCA ALTA DEL RIO SAN JUAN BAJO LA INFLUENCIA DE LA ACTIVIDAD MINERA*. Obtenido de Proyecto de investigación para optar el título de Magíster en Ingeniería Civil, con énfasis en recursos hidráulicos y medio ambiente. Bogotá DC. Escuela Colombiana de Ingeniería Julio Garavito:  
<https://repositorio.escuelaing.edu.co/bitstream/001/376/1/Urrutia%20Rivas%2c%20Marilin%20Ang%c3%a9lica%20-%202016.pdf>