

**APLICACIÓN DEL MODELO SWAT EN EL ESTUDIO
HIDROSEDIMENTOLÓGICO DE LA CUENCA QUEBRADA SAN PEDRO EN EL
MUNICIPIO DE CURUMANÍ, DEPARTAMENTO DEL CESAR**

**LOIDA BARBUDO CADENA
JORGE MARIO OCHOA DAZA
EDWIN YAIR VERBEL ACOSTA**



**UNIVERSIDAD DE MANIZALES
FACULTAD DE CIENCIAS E INGENIERÍA
PROGRAMA ESPECIALIZACIÓN EN SISTEMAS DE INFORMACIÓN
GEOGRÁFICA
MANIZALES
2016**

**APLICACIÓN DEL MODELO SWAT EN EL ESTUDIO
HIDROSEDIMENTOLÓGICO DE LA CUENCA QUEBRADA SAN PEDRO EN EL
MUNICIPIO DE CURUMANÍ, DEPARTAMENTO DEL CESAR**

**LOIDA BARBUDO CADENA
JORGE MARIO OCHOA DAZA
EDWIN YAIR VERBEL ACOSTA**

Trabajo de Grado presentado como opción parcial para optar
al título de Especialista en Información Geográfica

**UNIVERSIDAD DE MANIZALES
FACULTAD DE CIENCIAS E INGENIERÍA
PROGRAMA ESPECIALIZACIÓN EN SISTEMAS DE INFORMACIÓN
GEOGRÁFICA
MANIZALES
2016**

AGRADECIMIENTOS

Le agradecemos a Dios por habernos acompañado y guiado a lo largo de nuestra especialización, por ser nuestra fortaleza en los momentos de debilidad, por darnos sabiduría en los tiempos difíciles y por brindarnos una vida llena de aprendizajes, experiencias y sobre todo de felicidad.

También damos gracias a nuestras familias por apoyarnos incondicionalmente e impulsarnos a crecer profesionalmente y al Ingeniero Forestal Antonio Rudas Muñoz por orientarnos en el desarrollo del trabajo.

CONTENIDO

	Pág.
INTRODUCCIÓN	12
1. ÁREA PROBLEMÁTICA	13
2. OBJETIVOS	14
2.1 OBJETIVO GENERAL	14
2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS	14
3. JUSTIFICACIÓN	15
4. MARCO TEÓRICO	16
4.1 HIDROLOGÍA	16
4.2 SISTEMAS DE INFORMACION GEOGRAFICA	17
4.3 ANTECEDENTES	27
5. METODOLOGÍA	28
5.1 TIPO DE TRABAJO	28
5.2 PROCEDIMIENTO	28
5.2.1 Fase 1. Descripción y ubicación geográfica de la cuenca Quebrada San Pedro	28
5.2.2 Fase 2. Configuración datos de entrada del modelo	28
5.2.3 Fase 3. Utilización de las Tecnologías de Información Geografica	37
6. RESULTADOS	41
7. CONCLUSIONES	47
8. RECOMENDACIONES	48
BIBLIOGRAFÍA	49
ANEXOS	50

LISTA DE FIGURAS

	Pág.
Figura 1. Localización general Quebrada San Pedro	29
Figura 2. Modelo de elevación digital (DEM 30 metros) Quebrada San Pedro	29
Figura 3. Uso actual del suelo Quebrada San Pedro	30
Figura 4. Suelos Quebrada San Pedro	33
Figura 5. Creación del Proyecto de ARCSWAT	38
Figura 6. Delineación y cálculo de parámetros de la cuenca	38
Figura 7. Análisis de unidades de respuesta hidrológica (HRU)	39
Figura 8. Definición de los datos climáticos	39
Figura 9. Configuración y ejecución del modelo de simulación	40
Figura 10. Subcuencas Quebrada San Pedro	41
Figura 11. Pendiente Quebrada San Pedro	43
Figura 12. Unidad de respuesta hidrológica	44
Figura 13. Ciclo hidrológico de la Quebrada San Pedro	44
Figura 14. Sedimentación Quebrada San Pedro	46

LISTA DE CUADROS

	Pág.
Cuadro 1. Uso Actual del Suelo Cuenca Hidrográfica de la Quebrada San Pedro	30
Cuadro 2. Uso Actual del Suelo en Código SWAT	31
Cuadro 3. Propiedades físicas y químicas de los suelos Quebrada San Pedro	31
Cuadro 4. Uso actual del suelo, suelo y pendiente de la cuenca Quebrada San Pedro	42
Cuadro 5. Áreas para la producción de sedimentos	45

LISTA DE ANEXOS

	Pág.
ANEXO A. Propiedades Y Resultados de las variables de la Cuenca Quebrada San Pedro	43
ANEXO B. Resumen Analítico	55

GLOSARIO

Albedo: es la relación de la cantidad de radiación solar reflejada por un cuerpo por la cantidad incidente sobre éste, expresado como una fracción.

Capacidad de campo: se refiere a la cantidad relativamente constante de agua que contiene un suelo saturado después de 48 horas de drenaje.

Capacidad disponible de agua: es la cantidad de agua disponible para el crecimiento de las plantas y se encuentra entre la Capacidad de Campo y el Punto Permanente de Marchitez.

Conductividad hidráulica: es una medida de la facilidad del movimiento de agua a través del suelo.

Cuenca: extensión de terreno más ancha y menos profunda que un valle, cuyas aguas se vierten en un río, en un lago o en el mar.

Densidad aparente: la relación de la masa de partículas sólidas respecto al volumen total de suelo.

Grupo hidrológico: un grupo de suelos que tienen potencial de escurrimiento similar bajo condiciones de tormenta y una cobertura similar.

Humedad relativa: mide la cantidad de agua en el aire en forma de vapor, comparándolo con la cantidad máxima de agua que puede ser mantenida a una temperatura dada.

Modelo de elevación digital (DEM): es una representación visual y matemática de los valores de altura con respecto al nivel medio del mar, que permite caracterizar las formas del relieve y los elementos u objetos presentes en el mismo.

Precipitación: es cualquier producto de la condensación del vapor de agua atmosférico que se deposita en la superficie de la Tierra.

Punto permanente de marchitez: se refiere al contenido de agua de un suelo que ha perdido toda su agua a causa del cultivo y, por lo tanto, el agua que permanece en el suelo no está disponible para el mismo.

Radiación solar: la radiación solar es el flujo de energía que recibimos del sol en forma de ondas electromagnéticas de diferentes frecuencias (luz visible, infrarrojo y ultravioleta)

Subcuenca: poseen una posición geográfica en la cuenca y están espacialmente relacionados entre sí.

Suelo: es una capa delgada que se ha formado muy lentamente, a través de los siglos, con la desintegración de las rocas superficiales por la acción del agua, los cambios de temperatura y el viento.

Temperatura: es una magnitud física que refleja la cantidad de calor, ya sea de un cuerpo, de un objeto o del ambiente.

Textura: es la proporción de cada elemento en el suelo, representada por el porcentaje de arena, arcilla y limo.

Unidad de respuesta hidrológica (HRU): son partes de una subcuenca que poseen único atributos de uso / gestión / suelo.

Uso actual del suelo: el uso del suelo es el uso que los seres humanos hacen de la superficie terrestre.

Velocidad del viento: es la velocidad con la que el aire de la atmósfera se mueve sobre la superficie de la tierra.

RESUMEN

El Modelo SWAT utilizado en el modelamiento hidrológico y cálculo de la carga de sedimentos de la cuenca de la quebrada San Pedro genera una serie de indicadores de los procesos existentes en la cuenca que implican el recurso suelo, las coberturas y variables climáticas, los cuales se ven alterados por actividades antrópicas como la minería y la agricultura. Para lograr integrar todas estas variables en una simulación hidrológica se acudió a información relevante de la zona donde se encuentra la cuenca, como la topografía del terreno, las características fisicoquímicas de los suelos, los usos de la tierra y las variables del clima, las cuales después del debido procesamiento se ingresan al simulador para generar indicadores descriptivos propios del modelo como las Unidades de Respuesta Hidrológica (HRU) y cuantitativos como la carga de sedimentos que forman parte fundamental de este estudio y de algunos nutrientes del suelo de menor importancia para este trabajo.

Los procesos de sedimentación en la cuenca tienen relación directa con la pendiente del terreno, los suelos y su cobertura; encontrándose la mayor carga de sedimentos en las corrientes con laderas o pendientes más fuertes.

PALABRAS CLAVES: SWAT, Cuenca, Modelamiento, Sedimentos, Suelos, Clima.

ABSTRACT

The SWAT model used in hydrological modeling and calculation of sediment load in the basin of the San Pedro stream generates a series of indicators of existing processes in the basin involving soil resources, coverage and climatic variables, which are altered by human activities such as mining and agriculture. To achieve integrate all these variables in a hydrological simulation was attended relevant information from the area where the basin is, as the topography, the physicochemical characteristics of soils, land use and climate variables, which after due processing entering the simulator to generate their own descriptive indicators model as the hydrologic response units (HRU) and quantitative and sediment loads that are an essential part of this study and some soil nutrients minor for this work.

Sedimentation processes in the basin are directly related to the slope of the terrain, soils and coverage; meeting the highest sediment load in streams with steep slopes or more.

KEY WORDS: SWAT, Basin, Modeling, Sediments, Soils, Climate.

INTRODUCCIÓN

La cuenca de la Quebrada San Pedro del Municipio de Curumaní en el departamento del Cesar nace en la zona de la reserva forestal de la Serranía de Los Motilones, es una cuenca con gran actividad minera de explotación de material de arrastre debido al flujo de sedimentos producido por los procesos hidro-geológicos de la quebrada San Pedro.

El modelo SWAT es una herramienta importante en la modelación hidrológica para cálculo de aportes de sedimentos de una cuenca, estos modelos hidrológicos son determinantes para comprender y gestionar la dinámica de la naturaleza y los fenómenos antrópicos que afectan a las cuencas hidrográficas.

El modelo permite conocer la dinámica hídrica de las cuencas bajo escenarios actuales y futuros; permite realizar los análisis necesarios en la planificación referente al cambio de uso del suelo, actividades de reforestación, establecimiento de centros poblados, establecimiento de obras hidráulicas (como captación, embalses, canales, corrección de cauces, etc.). Debido a estas potencialidades que brinda un modelo de simulación, este se ha convertido en una herramienta de mucha utilidad en el estudio y manejo de cuencas hidrográficas, incluyendo el monitoreo, modelaje y simulación continua de la dinámica de la cuenca.

Este modelo no funciona por sí solo, necesita de un ambiente SIG para poder almacenar y procesar la información física como la topografía y climática como las variables de precipitación y temperatura, para generar los escenarios donde se simulen las diferentes situaciones planteadas. De acuerdo a esto se quiere estimar las características morfométricas, las unidades de respuesta hidrológica de la cuenca de la quebrada San Pedro, además de estimar la producción de sedimentos entre otros resultados que lo convierten en una gran herramienta para la toma de decisiones en la planificación y el manejo de la cuenca.

Los estudios hidrosedimentológicos con modelos como el SWAT, se convierten en una potente herramienta en el conocimiento de las alteraciones ocasionadas a los sistemas hídricos, como consecuencia de diversos esquemas de intervención e interacción con el medio natural, además de la intervención realizada por el hombre, debido a que muchos de los tributarios de esta cuenca son objeto de explotación de sedimentos de fondo en varios tramos por más de 20 años

1. ÁREA PROBLEMÁTICA

La cuenca hidrográfica Quebrada San Pedro en el municipio de Curumaní, departamento del Cesar ha sido objeto de explotación de sedimento de fondo en diferentes tramos, desde hace al menos 20 años; lo cual seguramente ha incidido en la producción de sedimentos y su arrastre hacia la llanura aluvial, provocando cambios en el régimen hidrológico. La actividad de extracción de sedimentos, comúnmente conocido como material de arrastre, así como el aprovechamiento del recurso hídrico superficial, podría estar siendo llevada a cabo sin conocer la verdadera naturaleza del régimen hidrosedimentológico, o de transporte de sedimentos en un flujo superficial, que gobierna a una corriente en particular, lo cual resulta en el deterioro progresivo de la misma.

La explotación de los recursos naturales genera impactos adversos sobre el entorno natural, en la medida en que dicha explotación se lleve a cabo sin tener en cuenta los límites naturales que existen para la misma. Los procesos de deforestación, las quemas de material vegetal y las prácticas no ecológicas en el manejo del suelo y del mismo lecho de las corrientes de agua, aumentan la vulnerabilidad a los procesos erosivos y, en consecuencia, el transporte de sedimentos crece paulatinamente en los ríos y quebradas. Estos canales y depósitos de aguas naturales o artificiales, entonces, reciben sedimentos y pierden su capacidad hidráulica y, en casos extremos, se colmatan, agregándose un desequilibrio ambiental que afecta la biota de estos cuerpos hídricos; como consecuencia se reduce la capacidad de conducir el flujo por el cauce normal principal resultando en desbordamientos e inundaciones periódicas que afectan al entorno natural y, de paso, las propiedades materiales del hombre (viviendas, cultivos agrícolas, etc.).

Estos cambios (en especial la colmatación), modifican a la vez los volúmenes de los depósitos de agua y el equilibrio de la biota, especialmente cuando se trata de sedimento fino que no decanta rápidamente en el fondo y afecta la calidad del agua.

2. OBJETIVOS

2.1 OBJETIVO GENERAL

Realizar el estudio hidrosedimentológico de la cuenca hidrográfica San Pedro en el municipio de Curumaní departamento del Cesar, con la utilización del modelo SWAT.

2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Modelar la cuenca Quebrada San Pedro haciendo uso de las tecnologías de información geográfica y la herramienta de modelación hidrológica Arcswat.
- Localizar geográficamente las zonas con mayor potencial de aportes de sedimentos para la cuenca de la quebrada San Pedro.
- Determinar la carga total de sedimentos en la Quebrada San Pedro para un periodo de 24 años de simulación.

3. JUSTIFICACIÓN

El agua es un recurso básico necesario para satisfacer las necesidades de las personas y por eso se debe cuantificar su disponibilidad en cantidad y calidad. Por eso deben ser generados estudios que aseguren su gestión integrada propendiendo siempre por garantizar su sostenibilidad; entendiéndose el desarrollo sostenible, como el que conduzca al crecimiento económico, a la elevación de la calidad de la vida y al bienestar social, sin agotar la base de recursos naturales renovables en que se sustenta, ni deteriorar el medio ambiente o el derecho de las generaciones futuras a utilizarlo para la satisfacción de sus propias necesidades. (Ley 99 de 1993. Artículo 3).

Un instrumento fundamental para la gestión integral del recurso hídrico es la planificación hidrológica, donde las reglas de operación o aprovechamiento de los sistemas son algunas de las estrategias de las que se sirve el planificador para mejorar el aprovechamiento de dichos recursos. El objetivo de estas reglas es obtener un mejor aprovechamiento de los recursos de una cuenca o sistema de cuencas, tratando de mitigar los efectos adversos de las sequías hidrológicas y de las crecidas que inevitablemente se presentan en tales sistemas debido a su naturaleza variable a través del tiempo y del espacio. (García, B 2007).

Esta variabilidad en un sistema hídrico, superficial o subterráneo, suele verse magnificada y acelerada por la explotación y uso de los recursos naturales. En estas alteraciones sobresale el aporte de sedimentos sobre las corrientes hídricas y las variaciones que estos introducen, y aún más, la información que pueden aportar acerca del origen de dichos materiales. Es así como los estudios hidrosedimentológicos se convierten en una potente herramienta en el conocimiento de las alteraciones ocasionadas a los sistemas hídricos como consecuencia de diversos esquemas de intervención e interacción con el medio natural.

En el caso de la extracción de materiales de un medio natural, se debe establecer la capacidad de recuperación o de reposición de las cantidades extraídas, con el fin de determinar el grado en que, en teoría, es posible explotar dichos materiales.

4. MARCO TEÓRICO

4.1 HIDROLOGÍA

La hidrología (del griego ὕδωρ [hidro]: ‘agua’, y Λογος [logos]: ‘estudio’) es una rama de las ciencias de la tierra que estudia las propiedades físicas, químicas y mecánicas del agua continental y marítima, su distribución y circulación en la superficie de la tierra, en la corteza terrestre y en la atmósfera. Esto incluye las precipitaciones, la escorrentía, la humedad del suelo, la evapotranspiración y el equilibrio de las masas glaciares. Por otra parte, el estudio de las aguas subterráneas corresponde a la hidrogeología.

La circulación de las masas de agua en el planeta es responsable del modelado de la corteza terrestre, como queda de manifiesto en el ciclo geográfico. Esa influencia se manifiesta en función de la distribución de las masas de rocas coherentes y deleznable, y de las deformaciones que las han afectado, y son fundamentales en la definición de los diferentes relieves. Recordemos que un río es una corriente de agua que fluye por un cauce desde las tierras altas a las tierras bajas y vierte en el mar o en una región endorreica (río colector) o a otro río (afluente). Los ríos se organizan en redes. Una cuenca hidrográfica es el área total que vierte sus aguas de escorrentía a un único río, aguas que dependen de las características de la alimentación. Una cuenca de drenaje es la parte de la superficie terrestre que es drenada por un sistema fluvial unitario. Su perímetro queda delimitado por la divisoria o interfluvio.

Los trazados de los elementos hidrográficos se caracteriza por la adaptación o inadaptación a las estructuras litológicas y tectónicas, pero también la estructura geológica actúa en el dominio de las redes hidrográficas determinando su estructura y evolución. El estudio hidrológico, inicia con el análisis morfométrico de la cuenca, que incluye: la delimitación de la cuenca, la medición del área y la longitud, altura máxima y mínima, índice de compacidad, factor de forma, curva hipsométrica, pendiente media, caracterización de la red de drenaje y el perfil altimétrico del cauce principal, entre otros. (Subversión Explicita, 2015)

4.1.1 Cuencas hidrográficas: una cuenca hidrográfica es un territorio drenado por un único sistema de drenaje natural, es decir, que drena sus aguas al mar a través de un único río, o que vierte sus aguas a un único lago endorreico. Una cuenca hidrográfica es delimitada por la línea de las cumbres, también llamada divisoria de aguas. El uso de los recursos naturales se regula administrativamente separando el territorio por cuencas hidrográficas, y con miras al futuro las cuencas hidrográficas se perfilan como las unidades de división funcionales con más coherencia, permitiendo una verdadera integración social y territorial por medio del

agua. También recibe los nombres de hoya hidrográfica, cuenca de drenaje y cuenca imbrífera.

Una cuenca hidrográfica y una cuenca hidrológica se diferencian en que la primera se refiere exclusivamente a las aguas superficiales, mientras que la cuenca hidrológica incluye las aguas subterráneas (acuíferos). (Herga, 2012)

4.2 SISTEMAS DE INFORMACION GEOGRAFICA

Los Sistemas de Información Geográficos (SIG) constituyen el conjunto de procedimientos diseñados para procesar la captura, recolección, administración, manipulación, transformación, análisis, modelamiento y espacialización de información que tiene referencia en el espacio. Los SIG permiten representar y localizar espacialmente estadísticas e indicadores, estudiar su evolución, así como localizar zonas vulnerables o sujetas a riesgos dados por fenómenos naturales o de carácter antrópico, realizar evaluaciones de los sistemas ambientales (suelos, agua, biodiversidad), analizar la distribución de la pobreza, infraestructura y, por la capacidad sintetizadora de la información, contribuir a generar una visión integrada que permita comprender y estudiar la sostenibilidad del desarrollo en los países de la región.

Se suele decir que "una imagen dice más que mil palabras", por eso los SIG constituyen una poderosa herramienta para el estudio de la interrelación ambiente-sociedad y tienen la ventaja de integrar el análisis de grandes cantidades de datos, superponer y diseñar indicadores que admitan distintas escalas o niveles de agregación. Así como las series de tiempo nos permiten entender cuándo ocurren y cómo evolucionan eventos y situaciones, los SIG nos facilitan conocer "dónde" tienen estos lugares.

El SIG funciona como una base de datos con información geográfica (datos alfanuméricos) que se encuentra asociada por un identificador común a los objetos gráficos de los mapas digitales. De esta forma, señalando un objeto se conocen sus atributos e, inversamente, preguntando por un registro de la base de datos se puede saber su localización en la cartografía.

La razón fundamental para utilizar un SIG es la gestión de información espacial. El sistema permite separar la información en diferentes capas temáticas y las almacena independientemente, permitiendo trabajar con ellas de manera rápida y sencilla, facilitando al profesional la posibilidad de relacionar la información existente a través de la topología geoespacial de los objetos, con el fin de generar otra nueva que no podríamos obtener de otra forma.

Las principales cuestiones que puede resolver un sistema de información geográfica, ordenadas de menor a mayor complejidad, son:

1. Localización: preguntar por las características de un lugar concreto.
2. Condición: el cumplimiento o no de unas condiciones impuestas al sistema.
3. Tendencia: comparación entre situaciones temporales o espaciales distintas de alguna característica.
4. Rutas: cálculo de rutas óptimas entre dos o más puntos.
5. Pautas: detección de pautas espaciales.
6. Modelos: generación de modelos a partir de fenómenos o actuaciones simuladas.

Por ser tan versátiles, el campo de aplicación de los sistemas de información geográfica es muy amplio, pudiendo utilizarse en la mayoría de las actividades con un componente espacial. La profunda revolución que han provocado las nuevas tecnologías ha incidido de manera decisiva en su evolución.

4.2.1 Técnicas utilizadas en los sistemas de información geográfica:

La creación de datos

La teledetección es una de las principales fuentes de datos para los SIG. En la imagen artística una representación de la constelación de satélites RapidEye. Las modernas tecnologías SIG trabajan con información digital, para la cual existen varios métodos utilizados en la creación de datos digitales. El método más utilizado es la digitalización, donde a partir de un mapa impreso o con información tomada en campo se transfiere a un medio digital por el empleo de un programa de Diseño Asistido por Ordenador (DAO o CAD) con capacidades de georreferenciación.

Dada la amplia disponibilidad de imágenes orto-rectificadas (tanto de satélite y como aéreas), la digitalización por esta vía se está convirtiendo en la principal fuente de extracción de datos geográficos. Esta forma de digitalización implica la búsqueda de datos geográficos directamente en las imágenes aéreas en lugar del método tradicional de la localización de formas geográficas sobre un tablero de digitalización.

La representación de los datos

Los datos SIG representan los objetos del mundo real (carreteras, el uso del suelo, altitudes). Los objetos del mundo real se pueden dividir en dos abstracciones: objetos discretos (una casa) y continuos (cantidad de lluvia caída, una elevación). Existen dos formas de almacenar los datos en un SIG: ráster y vectorial.

Los SIG que se centran en el manejo de datos en formato vectorial son más populares en el mercado. No obstante, los SIG ráster son muy utilizados en

estudios que requieran la generación de capas continuas, necesarias en fenómenos no discretos; también en estudios medioambientales donde no se requiere una excesiva precisión espacial (contaminación atmosférica, distribución de temperaturas, localización de especies marinas, análisis geológicos, etc.).

Ráster

Un tipo de datos ráster es, en esencia, cualquier tipo de imagen digital representada en mallas. El modelo de SIG ráster o de retícula se centra en las propiedades del espacio más que en la precisión de la localización. Divide el espacio en celdas regulares donde cada una de ellas representa un único valor. Se trata de un modelo de datos muy adecuado para la representación de variables continuas en el espacio.

Vectorial

En un SIG, las características geográficas se expresan con frecuencia como vectores, manteniendo las características geométricas de las figuras. Representación de curvas de nivel sobre una superficie tridimensional generada por una malla TIN.

En los datos vectoriales, el interés de las representaciones se centra en la precisión de la localización de los elementos geográficos sobre el espacio y donde los fenómenos a representar son discretos, es decir, de límites definidos. Cada una de estas geometrías está vinculada a una fila en una base de datos que describe sus atributos. Por ejemplo, una base de datos que describe los lagos puede contener datos sobre la batimetría de estos, la calidad del agua o el nivel de contaminación. Esta información puede ser utilizada para crear un mapa que describa un atributo particular contenido en la base de datos. Los lagos pueden tener un rango de colores en función del nivel de contaminación. Además, las diferentes geometrías de los elementos también pueden ser comparadas. Así, por ejemplo, el SIG puede ser usado para identificar aquellos pozos (geometría de puntos) que están en torno a 2 kilómetros de un lago (geometría de polígonos) y que tienen un alto nivel de contaminación. (Langle, 2014)

4.2.2 Arc Hydro: Es un conjunto de herramientas y modelos de datos que opera desde ArcGIS para ayudar en la elaboración de análisis de datos geoespaciales y temporales. Arc Hydro consiste de una extensión de un modelo geodatabase para ayudar en el manejo de los recursos hídricos proporcionando la estructura estándar del modelo de datos, contiene un conjunto de herramientas para el cálculo de parámetros en la geodatabase ArcHydro, así como funciones básicas que son aplicables en el manejo de los recursos hídricos. Representa el punto de partida para la implementación de una base de datos y desarrollo de aplicaciones

en el área de recursos hídricos. Es una herramienta muy buena para trabajar con cuencas hidrográficas/hidrológicas (balances hídricos, calidad de agua, parámetros morfométricos, etc)

Las herramientas de Arc Hydro tienen dos objetivos fundamentales. El primero consiste en manipular (asignar) atributos clave en el modelo de datos de Arc Hydro. Estos atributos constituyen la base para análisis posteriores. Incluyen los identificadores clave (como HydroID, DrainID, NextDownID, etc.) y los atributos de medida (como LengthDown). El segundo objetivo de estas herramientas consiste en proporcionar algunas funciones principales en las aplicaciones de recursos de aguas como, por ejemplo, delineación de cuencas hidrográficas basada en DEM, generación de redes y trazado basado en atributos. (ESRI, 2013)

4.2.3 Descripción del modelo SWAT: La extensión ArcSWAT para ArcGIS es la interfaz gráfica de usuario para el modelo SWAT, este es un paquete de análisis de datos geográficos diseñado para ayudar a generar archivos de entrada SWAT y analizar específicamente información resultante a partir de simulaciones usando las características principales de ArcGIS.

La aplicación del modelo SWAT, es una herramienta para la evaluación del agua y suelo fue desarrollado por el Dr. Jeff Arnold para el USDA el Servicio Agrícola de Investigación (ARS) de los Estados Unidos, ha sido validado en diferentes países a nivel mundial, fue desarrollado para predecir el impacto de las prácticas agrícolas, producción de agua y sedimentos, calidad del agua por el uso de plaguicidas y fertilizantes, mediante dos fases: terrestre y enrutamiento del ciclo hidrológico.

El modelo SWAT se basa en un balance hídrico para determinar la entrada, salida y almacenamiento de agua en la cuenca, para propósitos de simulación, la cuenca hidrográfica es dividida en un número de sub-vertientes o sub-cuencas. El uso de sub-vertientes en la simulación es muy útil, particularmente cuando hay diversas áreas de la misma cuenca que se ven afectadas por el uso de suelos o suelos bastantes desiguales de tal forma, que impactan grandemente la hidrología del sector (Uribe, 2010). El modelo SWAT requiere información específica acerca del clima, propiedades del suelo, topografía vegetación y prácticas agrícolas que acontecen en las cuencas. Los procesos físicos asociados con el movimiento del agua, movimiento de sedimentos, crecimiento del cultivo, ciclo de nutrientes y otros procesos son modelados con datos de entrada (Richardson, Bucks, & Sadler, 2008).

La simulación hidrológica de la cuenca puede ser separada en dos divisiones mayores. La primera división es la Fase Terrestre del Ciclo Hidrológico, esta fase controla la cantidad de agua, sedimentos, las cargas de alimento nutritivo y de

pesticida al canal principal de cada subcuenca, la Fase de Enrutamiento del Ciclo Hidrológico, la cual define el movimiento del agua, sedimentos, nutrientes, pesticidas, a través de la red de ríos de la cuenca hidrográfica.

La subdivisión de la cuenca permite al modelo reflejar las diferencias en la evapotranspiración para varias cosechas y suelos. Las escorrentías son predichas separadamente para cada HRU (Unidades de respuesta hidrológica) y dirigidas para obtener las escorrentías totales para las cuencas. Esto aumenta la certeza y da una mejor descripción física del equilibrio del agua.

Componentes del modelo SWAT

Estos se agrupan en ocho divisiones: clima, hidrología, sedimentación, temperatura del suelo, crecimiento de cultivos, nutrientes, transporte de pesticidas y manejo del cultivo. En este estudio son de interés las tres primeros componentes.

Clima

El clima de una cuenca suministra las entradas, tales como humedad y energía que controlan el balance hídrico y determinan la importancia relativa de los diferentes componentes del ciclo hidrológico. Las variables climáticas requeridas por el modelo SWAT se componen de precipitación diaria, temperatura del aire mínima y máxima, radiación solar, velocidad del viento y humedad relativa. El modelo reconoce valores de éstos componentes para ser ingresados como registros de datos observados o generados durante la simulación. Si la precipitación y las temperaturas diarias no están disponibles, se pueden introducir directamente al modelo y el generador climático puede simularlas.

Precipitación: El modelo SWAT emplea el modelo desarrollado por Nicks (1974) para generar precipitación diaria, para simulaciones las cuales no son posibles de leer en datos medidos. Este modelo de precipitación se usa también para llenar datos faltantes en registros de medición. El SWAT usa el modelo de la cadena de Markov para definir un día como húmedo o seco, al generar un número al azar entre 0.0 y 1.0 para probabilidades mensuales de recibir precipitación si el día anterior fue húmedo ó seco. Este número aleatorio se compara a la probabilidad apropiada húmedo-seco. Si el número aleatorio es igual o menor a la probabilidad húmedo-seco, el día se define como húmedo. Si el número aleatorio es más grande que la probabilidad húmedo-seco, el día se define como seco. Se considera un día húmedo cuando existe un día con 0.1 mm de lluvia o más.

Cuando se crea un día húmedo, la cantidad de precipitación es generada desde una distribución sesgada o una distribución exponencial. Cuando ocurre un evento

de precipitación, la lámina se calcula a partir de la generación de una distribución de la precipitación diaria. La cantidad de la precipitación diaria se reparte entre la lluvia y la nieve usando la temperatura diaria promedio del aire. La distribución sesgada propuesta por Nicks (1974) para generar un flujo de corriente representativo, al calcular la cantidad de precipitación en un día húmedo es:

$$R_{day} = \mu_{mon} + 2\sigma_{mon} \left[\frac{\left[\left(SND_{day} - \frac{g_{mon}}{6} \right) * \left(\frac{g_{mon}}{6} \right) + 1 \right]^3 - 1}{g_{mon}} \right]$$

Donde:

R_{day} = la cantidad de lluvia en un día dado (mm H₂O).

μ_{mon} = el promedio de la lluvia diaria en el mes (mm H₂O).

σ_{mon} = la desviación estándar de la lluvia diaria en el mes (mm H₂O).

SND_{day} = la desviación normal estándar calculada para el día.

g_{mon} = el coeficiente de sesgo para la precipitación diaria en el mes.

La desviación normal estándar para el día, es calculada con la siguiente expresión:

$$SND_{day} = \cos(6.283 * rnd_2) * \sqrt{-2\ln(rnd_1)}$$

Donde:

rnd_1 y rnd_2 = números aleatorios entre 0.0 y 1.0.

La distribución exponencial es proporcionada como una alternativa de la distribución sesgada. Dicha distribución requiere menos datos de entrada y es la más comúnmente usada en áreas donde los datos son limitados en eventos de precipitación disponibles. De esta manera, la precipitación diaria se calcula con la distribución exponencial usando la siguiente expresión:

$$R_{day} = \mu_{mon} * (-\ln(rnd_1))^{r_{exp}}$$

Donde:

R_{day} = la cantidad de lluvia en un día dado (mm H₂O).

μ_{mon} = el promedio de la lluvia diaria (mm H₂O) en el mes.

rnd_1 = un número aleatorio entre 0.0 y 1.0.

$rexp$ = un exponente que debería ser determinado entre 1.0 y 2.0.

Como el valor de $rexp$ se incrementa, el número de eventos de lluvia extrema durante el año podría incrementar. Pruebas realizadas en Estados Unidos de América indican que un valor de 1.3 da resultados satisfactorios.

Temperatura del aire y radiación solar: La temperatura mínima y máxima del aire, así como la radiación solar son generadas a partir de una distribución normal corregida por la probabilidad húmedo-seco. El factor de corrección se usa para dar mayor desviación a la temperatura y radiación, cuando cambia el clima y para los días lluviosos. De esta manera, las desviaciones son menores en días secos. Este factor de corrección asegura que las desviaciones estándar de las variables se mantengan a largo plazo. Para generar los valores diarios, se emplean los llamados residuos que se multiplican por la desviación estándar mensual y se suman al valor medio mensual, de la siguiente manera:

$$T_{mx} = \mu mx_{mon} + X_i(1) * \sigma mx_{mon}$$

$$T_{mn} = \mu mn_{mon} + X_i(2) * \sigma mn_{mon}$$

$$H_{day} = \mu rad_{mon} + X_i(3) * \sigma rad_{mon}$$

Donde:

T_{mx} = la temperatura máxima del día (°C).

μmx_{mon} = la media diaria de la temperatura máxima para el mes (°C).

$X_i(1)$ = el residuo para la temperatura máxima en un día dado.

σmx_{mon} = la desviación estándar para la temperatura máxima diaria durante el mes (°C).

T_{mn} = la temperatura mínima del día (°C).

μmn_{mon} = la media diaria de la temperatura mínima para el mes (°C)

$X_i(2)$ = el residuo para la temperatura mínima en un día dado.

σmn_{mon} = la desviación estándar para la temperatura mínima diaria durante el mes (°C).

H_{day} = la radiación solar del día (MJ/m²).

μrad_{mon} = la media diaria de la radiación solar para el mes (MJ/m²).

$X_i(3)$ = el residuo para la radiación solar en un día dado.

σrad_{mon} = la desviación estándar para la radiación solar diaria durante el mes (MJ/m²).

El usuario requiere ingresar la desviación estándar para la temperatura máxima y mínima. Para la radiación solar, la desviación estándar se estima como ¼ de la diferencia entre el extremo y el valor medio para cada mes.

$$\sigma rad_{mon} = \frac{H_{mx} - \sigma rad_{mon}}{4}$$

Donde:

H_{mx} = la radiación solar máxima que puede alcanzar la superficie de la Tierra en un día dado (MJ/m²).

Velocidad del viento y humedad relativa: Para generar la velocidad media diaria del viento, se emplea una ecuación exponencial modificada, ya que la velocidad media mensual del viento es un factor de entrada. En el modelo SWAT, la humedad relativa simula promedios diarios a partir de promedios mensuales, utilizando una distribución triangular al igual que con la temperatura y la radiación. La humedad relativa media diaria se ajusta al tomar en cuenta los efectos de días húmedos y secos. Para calcular la humedad relativa media mensual, que se define como el radio de la presión actual del vapor a la presión del vapor de saturación a una temperatura dada, se emplea la siguiente ecuación:

$$R_{hmon} = \frac{e_{mon}}{e^{\circ}_{mon}}$$

Donde:

R_{hmon} = la humedad relativa media mensual.

e_{mon} = la presión actual del vapor a temperatura media mensual (kPa).

e°_{mon} = la presión del vapor de saturación a temperatura media mensual (kPa).

La presión del vapor de saturación e°_{mon} se relaciona con la temperatura media mensual del aire, así:

$$e^{\circ}_{mon} = \exp \left[\frac{16.78 \mu t m p_{mon} - 116.9}{\mu t m p_{mon} - 237.3} \right]$$

Donde:

e_{mon}° = la presión del vapor de saturación a temperatura media mensual (kPa)
 μtmp_{mon} = la media mensual de la temperatura del aire (°C).

La media mensual de la temperatura del aire se calcula al promediar la media mensual de la temperatura máxima μmx_{mon} y la media mensual de la temperatura mínima μmn_{mon} .

La temperatura a punto de rocío es la temperatura a la cual la presión actual del vapor presente en la atmósfera es igual a la presión del vapor de saturación. Por lo tanto, al sustituir la temperatura a punto de rocío en lugar de la temperatura media mensual en la ecuación anterior, la presión actual del vapor puede calcularse así:

$$e_{mon} = \exp \left[\frac{16.78 \mu dew_{mon} - 116.9}{\mu dew_{mon} - 237.3} \right]$$

Donde:

e_{mon} = la presión actual del vapor a temperatura media mensual (kPa).
 μdew_{mon} = la media mensual de la temperatura a punto de rocío (°C).

Hidrología

La fase del ciclo hidrológico en el modelo SWAT está basado en la ecuación general del balance hídrico:

$$SW_t = SW_0 + \sum_{i=1}^t (R_{day} - Q_{surf} - E_a - w_{seep} - Q_{gw})$$

Donde:

SW_t = contenido final de agua en el suelo (mm H₂O)

SW_0 = contenido inicial de agua en el suelo (mm H₂O)

t = tiempo (días)

R_{day} = cantidad de precipitación en el día i (mm H₂O)

Q_{surf} = cantidad de escurrimiento superficial en el día i (mm H₂O)

E_a = cantidad de evapotranspiración en el día i (mm H₂O)

w_{seep} = cantidad de percolación y flujo de salida que circula en el perfil inferior del suelo en el día i (mm H₂O)

Q_{gw} = cantidad de flujo de retorno en el día i (mm H₂O)

Evapotranspiración: La evapotranspiración es un término en conjunto para todos los procesos por los cuales el agua en su fase sólida o líquida en/o cerca de la

superficie terrestre se convierte en vapor de agua atmosférica. La evapotranspiración incluye la evaporación de ríos y lagos, suelo desnudo, y superficies con vegetación; la evaporación desde las hojas de las plantas (transpiración); y sublimación de las superficies de hielo y nieve. La evaporación potencial del agua en el suelo se estima como una función de la evapotranspiración potencial y el índice de área foliar (el área de las hojas de una planta respecto al área de la Unidad de Respuesta Hidrológica, en este caso, el suelo). La evaporación actual del agua en el suelo se estima al usar funciones exponenciales de la profundidad del suelo y el contenido de agua. La transpiración de las plantas se simula como una función lineal de la evapotranspiración potencial y el índice de área foliar.

La evapotranspiración potencial es el índice por el cual la evapotranspiración pudiera ocurrir en una gran área completa y uniformemente cubierta con vegetación en desarrollo, misma que tiene acceso a un suministro ilimitado de agua en el suelo. Se supone que esta razón no influye en los procesos microclimáticos tales como los efectos advección o almacenamiento de calor.

Sedimentación

La Ecuación Universal de Pérdida de Suelo (USLE) predice la erosión media anual total como una función de la energía de la lluvia, mientras que en la Ecuación Universal de Pérdida de Suelo Modificada (MUSLE), el factor de energía de la lluvia es reemplazada con un factor de escurrimiento. Esto mejora la predicción de la producción de sedimentos, elimina la necesidad de asignar proporciones y reconoce la ecuación que será aplicada a eventos de tormenta individuales. La predicción de la producción de sedimentos fué mejorada porque el escurrimiento es una función de la condición de humedad antecedente así como la energía de la lluvia.

La Ecuación Universal de Pérdida de Suelo Modificada (Williams, 1975) es:

$$sed = 11.8 * (Q_{surf} * q_{peak} * area_{hru})^{0.56} * K_{USLE} * LS_{USLE} * C_{USLE} * P_{USLE} * CFRG$$

Donde:

sed = la producción de sedimento en un día dado (toneladas métricas).

Q_{surf} = el volumen del escurrimiento superficial (mm H₂O O/ha).

q_{peak} = la tasa pico del escurrimiento (m³/s).

$area_{hru}$ = el área de la unidad de respuesta hidrológica (ha).

K_{USLE} = el factor de erodabilidad del suelo (0.013 ton m² hr/m³ ton cm) de la ecuación universal de pérdida de suelo.

LS_{USLE} = el factor topográfico de la ecuación universal de pérdida de suelo.

C_{USLE} = el factor de cobertura vegetal y manejo de la ecuación universal de pérdida de suelo.

P_{USLE} = el factor de prácticas mecánicas de la ecuación universal de pérdida de suelo.

$CFRG$ = el factor de fragmentos ásperos (rugosidad).¹

4.3 ANTECEDENTES

El Ecuador realizó una hidroclimatología del oriente e hidrosedimentología de la Cuenca del Napo, obteniendo resultados durante los años 2001 y 2002 una exportación anual de flujo hídrico de $63 \times 10^9 \text{ m}^3$ y 24×10^3 toneladas de flujo sólido proveniente de la remoción de sedimentos fluviales finos en un tramo de 200 kilómetros, esta cuenca actúa como una zona de transferencia de sedimentos andinos y de erosión de cuando las pendientes eran más suaves y el bajo Napo tenía un perfil en equilibrio. (Laraque, Guyot, & Pombosa, 2004)

En Argentina se estudió los procesos que intervienen en la generación de una tasa de sedimentación muy alta en Puerto Rosales, donde analizo la distribución de la concentración de sedimentos en suspensión en la columna de agua, velocidad y dirección de las corrientes, destacándose la importancia de los vientos y las olas que actúan sobre las planicies de marea aledañas al puerto, aumentando notablemente la concentración de sedimento en suspensión y provocando la alta tasa de sedimentación, por lo cual proponen disminuir la velocidad de sedimentación del puerto evitando el ingreso de agua con concentraciones muy altas de sedimento en suspensión mediante la construcción de una barrera que atraviese la planicie de marea, de esta manera se protege y propicia el desarrollo de la *Spartina alterniflora* sobre la marisma con el objeto de disminuir la generación de sedimento en suspensión. (Federici, Cuadrado, & Gómez, 2004)

Nuestro país estimo los parámetros morfométricos y las unidades de respuesta hidrológica (URH) de la cuenca del río Ráquira en el departamento de Boyacá, utilizando las herramientas del programa Swat en Arcgis, para calcular la morfometría de la cuenca y analizar el comportamiento hidrológico; esto se logró con la generación de las URH donde se relaciona el tipo de suelo, uso de la cobertura vegetal y la pendiente. Finalmente priorizaron cualitativamente las zonas con mayor potencial de sedimentos. (Hernandez, 2015)

¹ MATA ESPINOSA, Hector. El modelo de simulación hidrológica swat aplicado en la cuenca del río amajac, hidalgo, méxico. Montecillo, 2008, 169 p. Trabajo de grado (Maestro en Ciencias). Institución de Enseñanza e Investigación en Ciencias Agrícolas, Postgrado de Hidrociencias, Maestro en Ciencias.

5. METODOLOGÍA

5.1 TIPO DE TRABAJO

Es un trabajo de investigación aplicada donde se utilizan los conocimientos técnicos en la práctica, para aplicarlos a fenómenos naturales y antrópicos causados sobre las cuencas hidrográficas. En este se integran la hidrología y los sistemas de información geográfica en el modelo hidrológico SWAT (Soil And Water Assessment Tool) por sus siglas en inglés, para obtener información relevante sobre la morfometría, el clima, los suelos, uso actual del suelo y sedimentos de la cuenca Hidrográfica San Pedro.

5.2 PROCEDIMIENTO

5.2.1 Fase 1. Descripción y ubicación geográfica de la cuenca Quebrada San Pedro. La cuenca de la quebrada San Pedro con código 2802-3 según la ordenación realizada por la Corporación Autónoma Regional del Cesar - CORPOCESAR, hace parte de la cuenca del río Cesar, localizada al nororiente del país, en la subregión del centro del departamento del Cesar, en el municipio de Curumaní.

Limita al noreste con el Arroyo de Anime Grande, al Sureste con el arroyo Animito, al Noroeste con el departamento de Norte de Santander, al oeste con el municipio de Chiriguaná y al Este con la República Bolivariana de Venezuela, como se observa en la Figura 1.

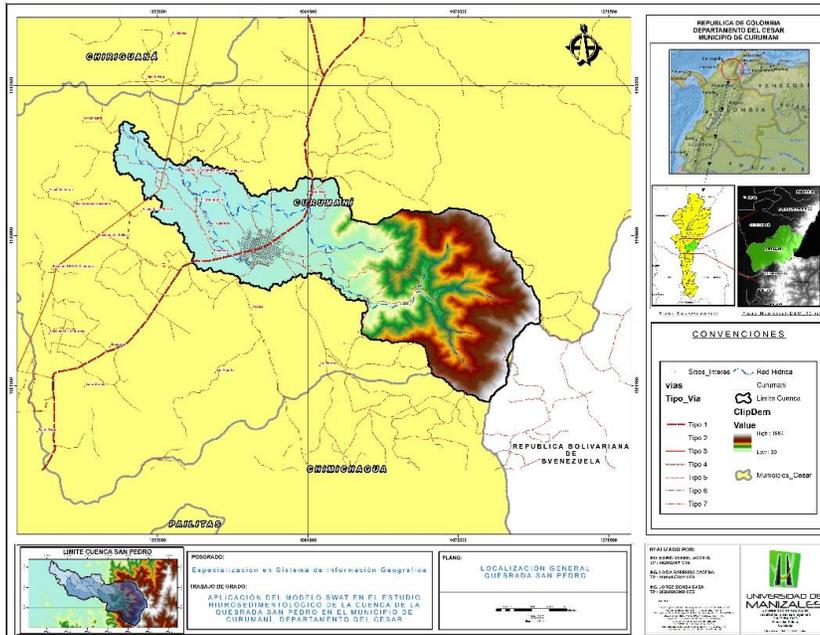
La Quebrada San Pedro nace en la reserva Forestal de los Motilones a una altura de 1900 m.s.n.m. aproximadamente y luego de un recorrido de 42 Km desemboca en el Arroyo Anime Grande, los principales afluentes son la quebrada Agua Fría, quebrada San Ignacio y quebrada Sonsorí.

5.2.2 Fase 2. Configuración datos de entrada del modelo

- **Modelo Digital de Elevación (DEM):** El modelo de elevación digital insumo base para este trabajo es un ASTER GDEM de la NASA a una resolución de 30X30 m, presentando una variación altitudinal entre los 30 y los 1964 msnm, con este modelo digital de elevación se delimita la cuenca y se define la red de drenajes. Antes de ingresar el DEM al modelo SWAT este se corrige mediante

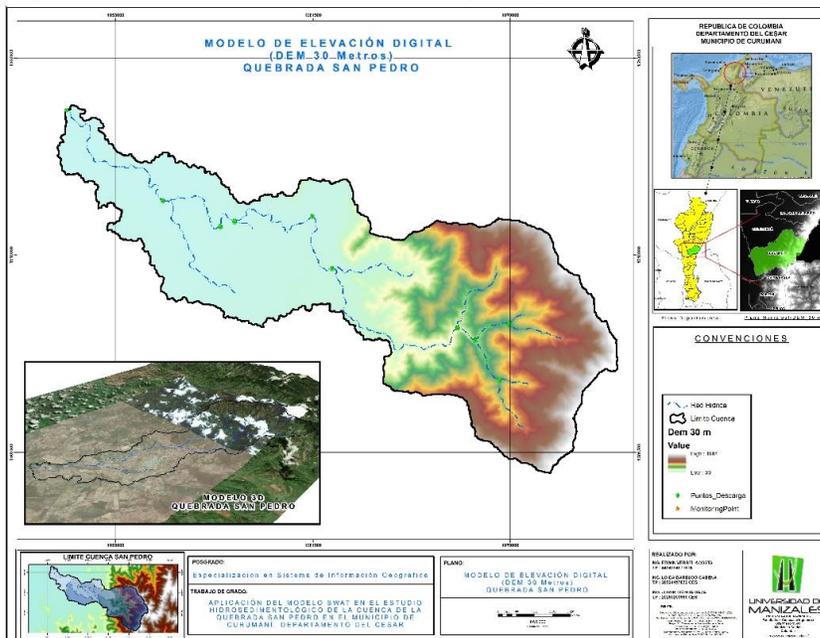
un llenado con la extensión Arc Hydro Tools como se puede visualizar en la Figura 2.

Figura 1. Localización general Quebrada San Pedro



Fuente: AUTORES.

Figura 2. Modelo de elevación digital (DEM 30 metros) Quebrada San Pedro



Fuente: AUTORES.

- **Uso Actual del Suelo:** Se utilizó la información de coberturas generada por el Instituto Geográfico Agustín Codazzi - IGAC realizado con la metodología Corine Land Cover (Cuadro 1) a escala 1:100000.

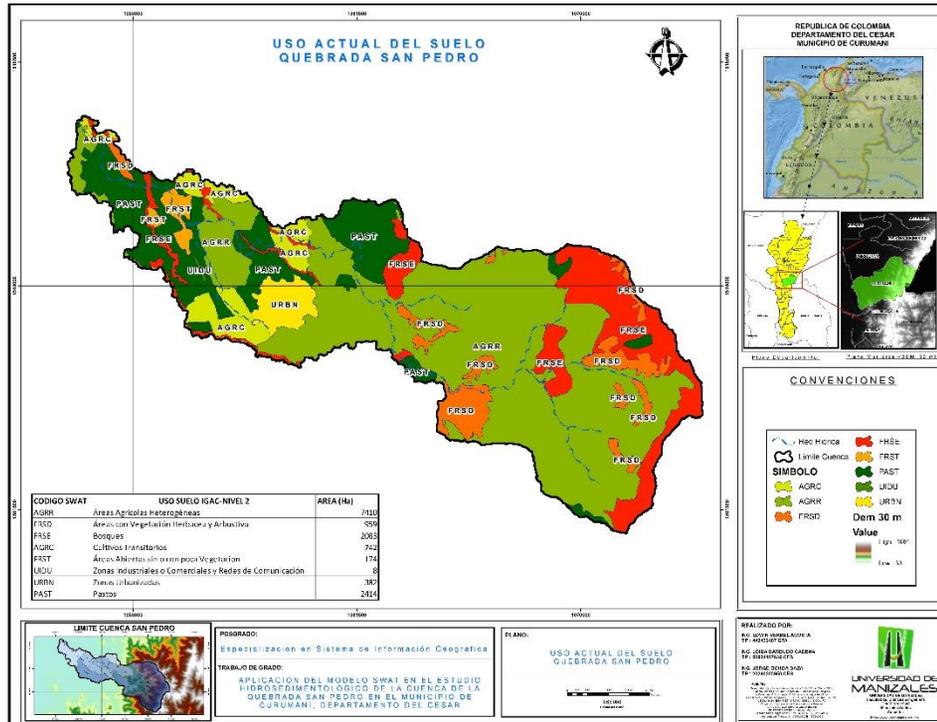
Cuadro 1. Uso Actual del Suelo Cuenca Hidrográfica de la Quebrada San Pedro

USO	ÁREA (HAS)	ÁREA %
Pastos	2413.9176	17.03
Áreas Agrícolas Heterogéneas	7410.1772	52.28
Áreas con Vegetación Herbácea y Arbustiva	958.9196	6.77
Bosques	2083.4912	14.70
Cultivos Transitorios	742.3100	5.24
Áreas Abiertas sin o con poca Vegetación	173.8598	1.23
Zonas Industriales o Comerciales y Redes de Comunicación	7.8004	0.06
Zonas Urbanizadas	382.2663	2.70
TOTAL	14172.7420	100.00

Fuente: INSTITUTO GEOGRÁFICO AGUSTÍN CODAZZI.

Estos usos del suelo para poder ingresarlos al modelo se tienen que homologar con los códigos de usos existentes en la base de datos del modelo SWAT (Cuadro 2), teniendo en cuenta las similitudes entre las coberturas de uso actual del suelo del IGAC y las existentes en el modelo, se puede observar en Figura 3.

Figura 3. Uso actual del suelo Quebrada San Pedro



Fuente: AUTORES.

Cuadro 2. Uso Actual del Suelo en Código SWAT

USO	CÓDIGO SWAT
Pastos	PAST
Áreas Agrícolas Heterogéneas	AGRR
Áreas con Vegetación Herbácea y Arbustiva	FRSD
Bosques	FRSE
Cultivos Transitorios	AGRC
Áreas Abiertas sin o con poca Vegetación	FRST
Zonas Industriales o Comerciales y Redes de Comunicación	UIDU
Zonas Urbanizadas	URBN

Fuente: INSTITUTO GEOGRÁFICO AGUSTÍN CODAZZI.

- Suelos:** Para los suelos se utilizó la información del Plan de Ordenamiento y Manejo de Cuencas - POMCA de la quebrada San Pedro y del Estudio General de Suelos de los Municipios de Curumaní, Chimichagua, Chiriguaná y La Jagua de Ibirico, realizado por el Instituto Geográfico Agustín Codazzi en el año 1986; que es el estudio vigente y contiene las características físicas y químicas de los suelos con lo cual se alimentó la base de datos del modelo SWAT (Cuadro 3). Esto se realizó para que los suelos utilizados en la simulación tengan las características reales del área de la cuenca.

Cuadro 3. Propiedades físicas y químicas de los suelos Quebrada San Pedro

NOMBRE	PROFUNDIDAD DE LA CAPA(mm)	CARBÓN ORGÁNICO%	% ARCILLA	% LIMO	% ARENA	K_ EROSION
AGab1	140	1.34	16	44	40	0.60
	340	0.33	22	42	36	
	500	0.13	28	34	38	
	650	0.27	36	28	36	
	900	0.07	32	16	52	
AUa1	250	0.33	6	34	60	0.60
	460	0.20	8	32	60	
	750	0.13	44	28	28	
	1500	0.13	44	22	34	
BDde2	220	2.24	40	20	40	0.60
	650	0.88	54	24	22	
	820	0.47	42	28	30	
BDef2	220	2.24	40	20	40	0.60
	650	0.88	54	24	22	
	820	0.47	42	28	30	
CÑa	200	0.47	12	32	56	0.60
	530	0.13	10	26	64	
	780	0.07	6	28	66	
	860	0.07	10	46	44	

NOMBRE	PROFUNDIDAD DE LA CAPA(mm)	CARBÓN ORGÁNICO%	% ARCILLA	% LIMO	% ARENA	K_ EROSION
	1200	0.07	4	20	76	
CUa	210	0.93	22	54	24	0.60
	540	0.13	40	42	18	
	800	0.20	40	34	26	
	1300	0.20	32	34	34	
GUef1	180	3.48	36	32	32	0.23
	380	1.21	40	24	36	
	650	0.61	36	36	28	
	850	0.28	26	28	46	
INde2	140	1.55	24	38	38	0.60
MAa	250	0.40	44	46	10	0.62
	550	2.97	56	30	14	
	950	3.18	54	34	12	
	1200	2.85	64	30	6	
ROa	150	0.87	16	52	32	0.60
	330	1.34	18	64	18	
	510	1.08	34	50	16	
	700	0.47	30	48	22	
	940	0.20	24	50	26	
	1040	0.07	14	34	52	
	1740	0.13	10	28	62	

Fuente: INSTITUTO GEOGRÁFICO AGUSTÍN CODAZZI Estudio General de Suelos de los Municipios de Curumaní, Chimichagua, Chiriguaná y La Jagua de Ibirico. Bogotá. . Fecha de publicación: 1986, Fecha de consulta: 01/03/2016. p. 195.

- **Descripción de las unidades de suelos:** el Instituto Geográfico Agustín Codazzi clasifica los suelos del área de estudio en nueve conjuntos, como se observa en la Figura 4.

MAa: Conjunto MAMEY (fluvaquentic eutropept). Perfil modal PC-10

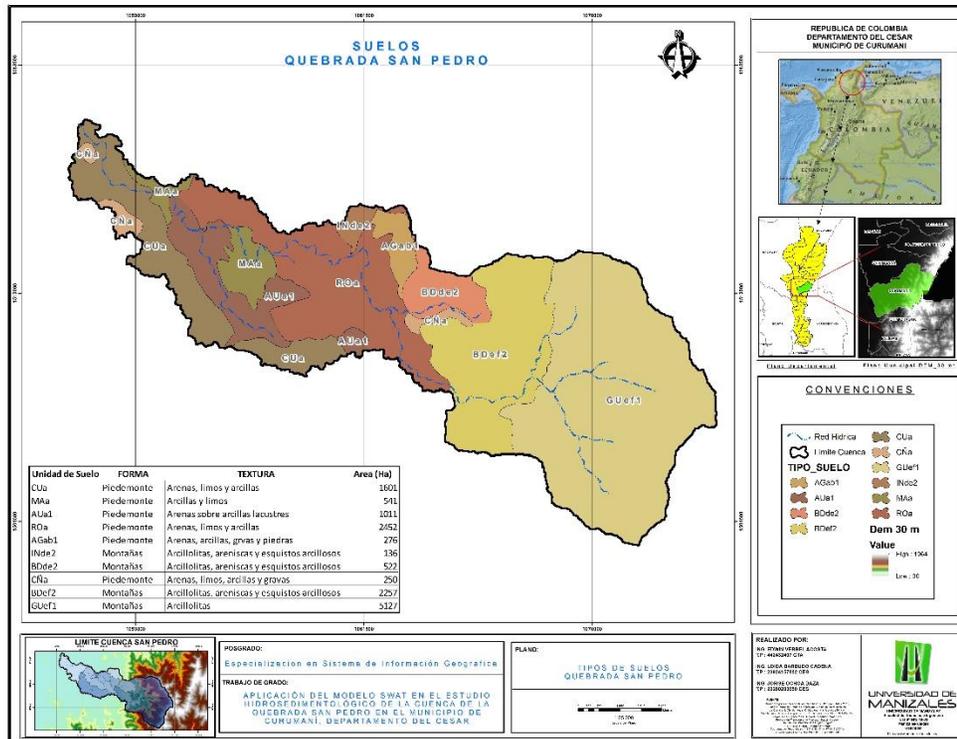
Se localiza en las áreas un poco mejor drenadas de la unidad. El perfil es de textura arcillosa muy fina, con superficies de presión y grietas amplias a profundas cuando está seco. El horizonte A es de color pardo grisáceo, con abundantes manchas de color gris oscuro; los horizontes B y C son de color gris oscuro, pardo a pardo oscuro, gris, pardo rojizo y pardo amarillento.

CUa: Conjunto CURUMANI (fluventic eutropept). Perfil modal PC-09

Se localiza generalmente en la parte central del cuerpo de los abanicos, en las áreas mejor drenadas. El perfil tiene un horizonte A, con un espesor menor de 25cm., color pardo a pardo oscuro o pardo grisáceo oscuro y textura media a

moderadamente fina, que descansa sobre un horizonte profundo, de color pardo grisáceo oscuro, pardo y pardo amarillento, en algunas partes con concreciones pequeñas, redondeadas y duras de hierro y manganeso. Después de los 70 cm de profundidad aparece el horizonte C, de textura fina y color pardo grisáceo y pardo fuerte.

Figura 4. Suelos Quebrada San Pedro.



Fuente: AUTORES adaptado del POMCA de la Quebrada San Pedro, 2010.

CÑa: Conjunto CAÑOGRANDE (Tipyc Troporthent). Perfil modal PC-5

No ocupa una posición bien definida dentro de los valles, sino que se encuentra alternando con el conjunto Los Serenos; son suelos superficiales a moderadamente profundos, limitados por nivel freático, texturas gruesas y/o pedregosidad. El perfil se caracteriza por presentar una serie de capas de texturas que varían entre medias y gruesas, colores: pardo grisáceo oscuro en el primer horizonte, pardo fuerte, pardo, pardo amarillento, pardo oscuro, amarillo y gris a gris claro en el resto del perfil.

Roa: Conjunto SAN ROQUE (fluventic eutropept). Perfil modal PC-11

Se localiza generalmente cerca a los cauces de las corrientes naturales y en las áreas mejor drenadas de la unidad. El perfil, poco a medianamente evolucionado,

se caracteriza por presentar un horizonte A con espesor menor de 35 cm; textura media a moderadamente fina, colores pardo, pardo grisáceo muy oscuro, pardo grisáceo oscuro o pardo a pardo oscuro, que descansa sobre un horizonte Bw profundo, de texturas medias a moderadamente finas, colores pardo rojizo claro, pardo a pardo oscuro, con manchas de color pardo oscuro, amarillo pálido, pardo y pardo grisáceo oscuro. Después de los 65 cm de profundidad aparecen capas de texturas medias a finas y colores pardo fuerte, pardo amarillento, amarillo pardusco, gris, pardo oscuro y pardo.

INde2: Conjunto INTURCO (Lithic Troprothent). Perfil modal PC-60

Se encuentra distribuido en toda la unidad, el perfil, poco evolucionado, presenta un horizonte A con espesor menor de 15cm, color pardo amarillento oscuro o pardo grisáceo oscuro y textura media, con un 40% de gravilla y cascajo, este descansa sobre un horizonte C poco profundo o directamente sobre la roca (arcillolitas).

AGab1: Conjunto AGUACATAL (Fluventic Dystropept). Perfil modal PC-15

Se localiza en las áreas más planas y partes bajas de las ondulaciones. El perfil, poco a medianamente evolucionado. Muestra un horizonte A con un espesor menor de 20 cm, color pardo a pardo oscuro y textura media a moderadamente gruesa, que descansa sobre un horizonte Bw profundo, de color pardo amarillento, amarillo rojizo y pardo fuerte y textura media a moderadamente fina; luego viene el horizonte C, de color amarillo, rojo o rojo amarillento, de textura media a moderadamente fina, con abundantes piedras redondeadas y gravilla, que aumentan en porcentaje con la profundidad.

AUa1: Conjunto AURORA (Typic Dystropept). Perfil modal PC-4

Se localiza generalmente en el centro del cuerpo y pie de los abanicos. El perfil, medianamente a bien evolucionado, tiene un horizonte A, con un espesor de 25 cm, o menos, color pardo grisáceo o gris y textura media a moderadamente gruesa, que descansa sobre un horizonte B, caracterizado por presentar abundantes concreciones, gruesas y duras, de hierro y manganeso. Luego aparece una discontinuidad, caracterizada por horizontes B arcillosos de color gris claro, gris, rojo amarillento, rojo y rosado, con algunas concreciones de hierro y manganeso y fragmentos redondeados muy alterados.

BDde2 y BDef2: Conjunto Bodega (Typic Dystropept). Perfil modal PC-31

Se encuentra distribuido en toda la unidad, principalmente donde hay menos erosión y las pendientes son menores. El perfil, medianamente evolucionado, se

caracteriza por tener un horizonte A con un espesor menor de 25cm, color pardo amarillento oscuro o pardo oscuro y textura media a fina, con un 20% de fragmentos rocosos; este descansa sobre el horizonte Bw, de color rojo amarillento, textura fina y con un 40% de fragmentos rocosos; luego viene el horizonte C, con más de 60% de fragmentos rocosos y a partir de los 80 cm aparece la roca dura y coherente.

GUef1: Conjunto GUARUMERA (Vertic Dystropept). Perfil modal PC-29

Se localiza generalmente en el centro y pie de las laderas, donde las pendientes son menores. El perfil, medianamente desarrollado, presenta un horizonte A de menos de 20 cm de espesor, color pardo a pardo oscuro y texturas finas, que descansa sobre un horizonte Bw de color pardo a pardo oscuro o pardo amarillento y textura fina, con un 10% de fragmentos rocosos. Después de los 55 cm. Aparece el horizonte C, de color gris oscuro y textura fina, con un 20% de fragmentos rocosos. Se observan grietas y algunas superficies de presión.

- **Datos de Clima:** Para la información climática se utilizó la base de datos de Los Centros Nacionales de Predicción Ambiental (NCEP) Pronóstico del Clima Sistema Reanálisis (CFRS) de los Estados Unidos, el cual se completó durante un período de 24 años correspondiente a los años de 1990 a 2013.

La información meteorológica del CFRS clima fue obtenido de un cuadro delimitado de latitud sur 8.8199 grados, latitud norte 9.3353 grados y longitud oeste -73.8062 grados, longitud este -73.7677 grados del sitio web de datos globales de tiempo para SWAT (Global Weather Data For SWAT) el cual incluye las variables de temperatura máxima y mínima (°C), la velocidad del viento (m/s), humedad relativa (fracción) y radiación solar (MJ/m²). La producción de datos CFRS involucra varias interpolaciones espaciales y temporales sobre los datos meteorológicos convencionales presentados, otras observaciones convencionales cercanas y productos satelitales.

De este se obtiene cuatro puntos de referencia de la grilla separados a 34,4 kms con series de datos climatológicos de 24 años de las variables que exige el modelo SWAT para la simulación hidrosedimentológica.

Mediante un archivo de texto con la siguiente estructura se carga la información de cada estación o punto de referencia de la base de datos al modelo SWAT, por ejemplo para la variable precipitación al igual que las demás se tiene la siguiente estructura que contiene el ID o número de la estación, el NAME que es el identificador de la estación, la LAT y LONG en grados decimales y la ELEVATION o altura a la que se encuentra la estación o punto de referencia, esta tabla en formato .txt se enlaza con otro archivo de texto donde se encuentra la serie de datos climáticos ordenados desde el 01-01-1990 hasta el 31-12-2013.

Estructura del archivo .txt para cargar los datos de precipitación al modelo:

```
ID,NAME,LAT,LONG,ELEVATION
1,p25020250,9.197,-73.542,100.000
2,p25020920,9.217,-73.417,500.000
3,p25025250,9.361,-73.593,40.000
4,p25025330,8.954,-73.63,50.000
```

Estructura del archivo .txt para cargar los datos de humedad relativa al modelo:

```
ID,NAME,LAT,LONG,ELEVATION
1,r89-738,8.899,-73.750,73.000
2,r92-738,9.211,-73.750,43.000
3,r89-734,8.899,-73.438,1901.000
4,r92-734,9.211,-73.438,1279.000
```

Estructura del archivo .txt para cargar los datos de radiación solar al modelo:

```
ID,NAME,LAT,LONG,ELEVATION
1,s89-738,8.899,-73.750,73.000
2,s92-738,9.211,-73.750,43.000
3,s89-734,8.899,-73.438,1901.000
4,s92-734,9.211,-73.438,1279.000
```

Estructura del archivo .txt para cargar los datos de temperatura al modelo:

```
ID,NAME,LAT,LONG,ELEVATION
1,t89-738,8.899,-73.750,73.000
2,t92-738,9.211,-73.750,43.000
3,t89-734,8.899,-73.438,1901.000
4,t92-734,9.211,-73.438,1279.000
```

Estructura del archivo .txt para cargar los datos de velocidad del viento al modelo:

```
ID,NAME,LAT,LONG,ELEVATION
1,w89-738,8.899,-73.750,73.000
2,w92-738,9.211,-73.750,43.000
3,w89-734,8.899,-73.438,1901.000
4,w92-734,9.211,-73.438,1279.000
```

Se utiliza la información de esta base de datos debido a que después de analizar la información de las estaciones climatológicas y pluviométricas del IDEAM que se encuentra en la zona, estas no cuentan con todos los parámetros necesarios para la correcta simulación del modelo SWAT, por ejemplo las estaciones

climatológicas de Chiriguaná (25025250) y Colagro Pailitas (25025330) que son representativas de la zona de la cuenca no cuentan con la variable de radiación solar, presentan muchos datos faltantes de temperatura y humedad relativa, por lo que en conjunto con las estaciones pluviométricas de Curumaní (25020250) y La Primavera (25020920) solo se utilizan los datos de precipitación.

5.2.3 Fase 3. Utilización de las Tecnologías de Información Geográfica.

Para el desarrollo de este trabajo se hace uso de los Sistemas de Información Geográfica como tecnologías aplicadas para el análisis y simulación de los procesos hidrológicos y de sedimentación de una cuenca hidrográfica.

Por medio de estas tecnologías como Arcswat, Archydro que funcionan bajo la interfaz de Arcgis se procesa información correspondiente a relieve representado en un raster o modelo de elevación, el suelo y uso del suelo en forma de vector, y la información del clima.

Gracias a estas herramientas se realiza la modelación hidrológica de la cuenca, el análisis de los resultados y la presentación de estos, como se describe a continuación:

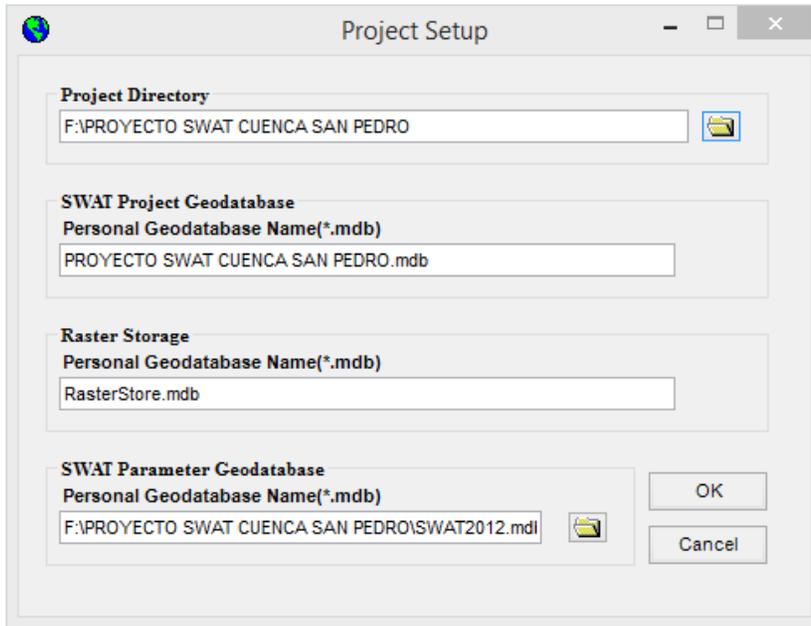
Modelación

- **Delineación de la Cuenca:** Antes debemos crear nuestro proyecto de ARCSWAT que ya se ha instalado como una extensión de ARCGIS, se puede observar en la Figura 5.

Cuando creamos un nuevo proyecto de ARCSWAT se generan automáticamente 3 geodatabases en el directorio seleccionado, en la primera se almacena la información generada en la delineación de la cuenca y las unidades de respuesta hidrológica (HRU) en formato shp, además de las tablas que se generan en el proceso. En la segunda geodatabase denominada por defecto RasterStore se almacenan todos los ráster productos de la delineación de la cuenca y el ráster de pendientes entre otros y en la última geodatabase denominada SWAT 2012 esto debido a la versión utilizada, se encuentra la base de datos del modelo SWAT indispensable para el funcionamiento del modelo y para la simulación como proceso final.

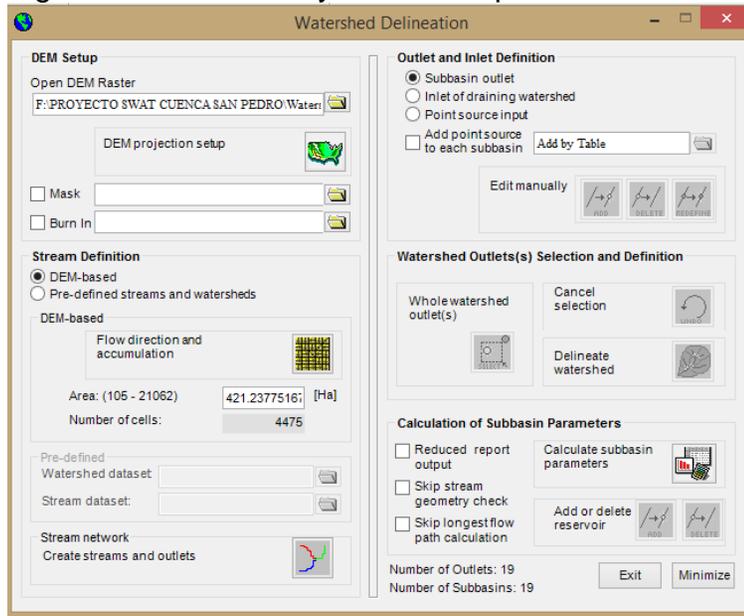
Luego de creado el proyecto se comienza con el proceso de delineación de la cuenca mediante el módulo Watershed Delineator donde se utiliza como información de entrada el modelo de elevación digital (DEM) para generar la red de drenajes, la cuenca y subcuenca con todos sus parámetros, se puede observar en la Figura 6.

Figura 5. Creación del Proyecto de ARCSWAT



Fuente: ARCSWAT, 2012.

Figura 6. Delineación y cálculo de parámetros de la cuenca

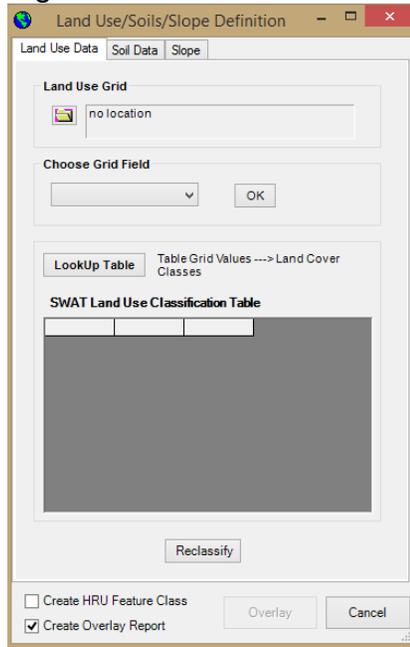


Fuente: ARCSWAT, 2012.

- **Definición de Uso del Suelo, Suelos y Pendientes:** Mediante el módulo Land Use / Soils /Slope Definition se carga la información de Uso de Suelo, Suelos

en shape y se ingresan los rangos de pendientes, como se observa en la Figura 7.

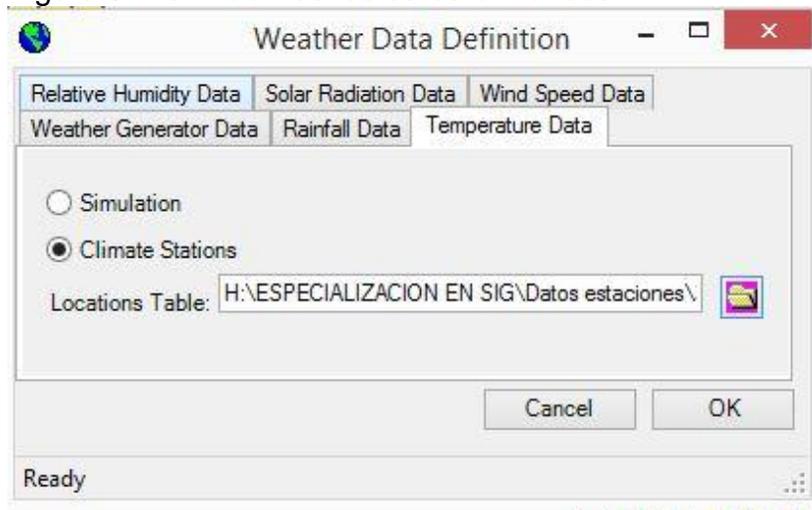
Figura 7. Análisis de unidades de respuesta hidrológica (HRU)



Fuente: ARCSWAT, 2012.

- **Entrada de datos meteorológicos:** se ingresaron las tablas que contienen la información de localización de las estaciones del IDEAM y los puntos de referencia de CFSR. Observar Figura 8.

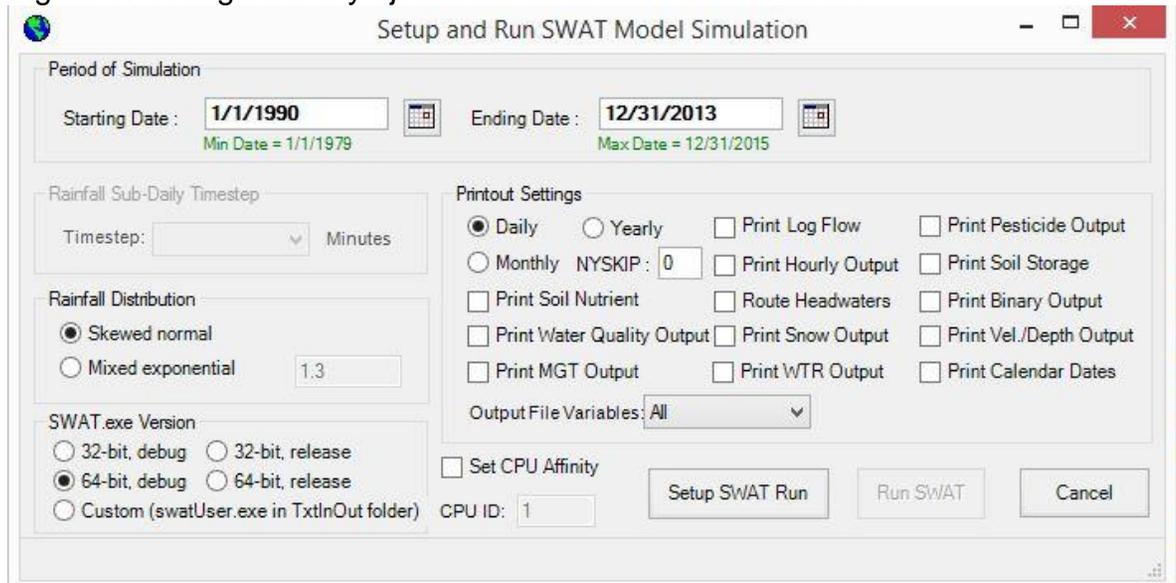
Figura 8. Definición de los datos climáticos



Fuente: ARCSWAT, 2012.

- **Simulación en SWAT:** después de haber cargado los datos meteorológicos en el modelo, se ajusta para datos diarios y se ejecuta la simulación de donde se obtienen todos los resultados, como se observa en la Figura 9.

Figura 9. Configuración y ejecución del modelo de simulación



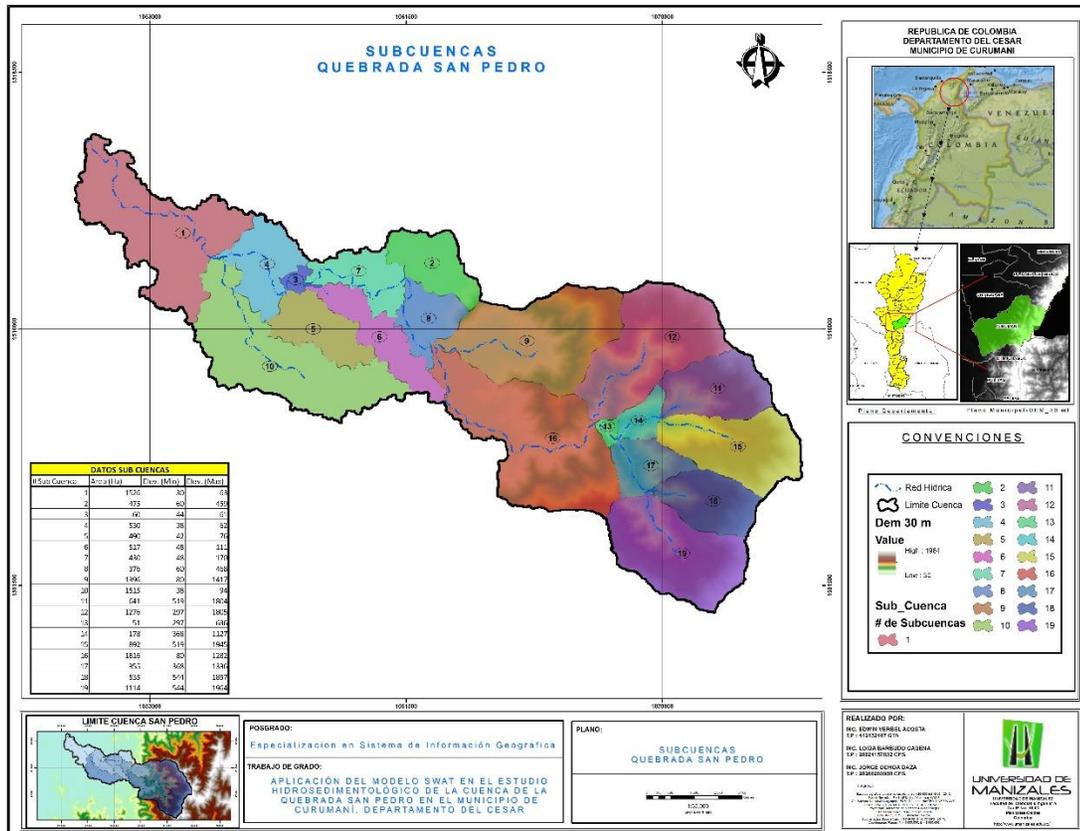
Fuente: ARCSWAT, 2012.

6. RESULTADOS

6.1 DESCRIPCIÓN DE RESULTADOS

Al realizar la delimitación de la cuenca Quebrada San Pedro con la aplicación SWAT, se obtuvo un perímetro de 103.215 Km, un área de 14172.7 Ha, comprendida por 19 subcuencas y un drenaje principal de una longitud de 36. 393 Km, como se observa en la Figura 10.

Figura 10. Subcuencas Quebrada San Pedro



Fuente: ARCSWAT, 2012.

En el análisis de HRU que son las unidades en que se dividen las subcuencas que poseen atributos únicos de suelo, uso del actual del suelo y pendiente, el SWAT clasifico la cuenca Quebrada San Pedro, en ocho usos del suelo, diez tipos de suelos y se definió la pendiente en cinco clases en valores de 0-100, visualizadas en el Cuadro 4 y la Figura 11.

Cuadro 4. Uso actual del suelo, suelo y pendiente de la cuenca Quebrada San Pedro.

CUENCA SAN PEDRO			
AREA:		14172.7	Hectáreas
CANTIDAD DE SUBCUENCAS:		19	Subcuencas
DESCRIPCIÓN		Área [ha]	% Área
USO ACTUAL DEL SUELO	Forest-Mixed --> FRST	173.6	1.2
	Agricultural Land-Row Crops --> AGRR	7411.2	52.3
	Forest-Deciduous --> FRSD	959.3	6.8
	Forest-Evergreen --> FRSE	2080.7	14.7
	Agricultural Land-Close-grown --> AGRC	742.9	5.2
	Pasture --> PAST	2416.0	17.1
	Industrial --> UIDU	7.5	0.1
	Residential --> URBN	381.6	2.7
SUELO	AGab1	275.8	2.0
	AUa1	1011.3	7.1
	BDde2	521.7	3.7
	BDef2	2257.4	15.9
	Cña	250.2	1.8
	CUa	1600.7	11.3
	GUef1	5126.6	36.2
	INde2	136.5	1.0
	MAa	540.6	3.8
	ROa	2451.9	17.3
PENDIENTE	0-20	6381.2	45.0
	20-40	1800.1	12.7
	40-60	3205.9	22.6
	60-80	2024.0	14.3
	80-100	761.6	5.4

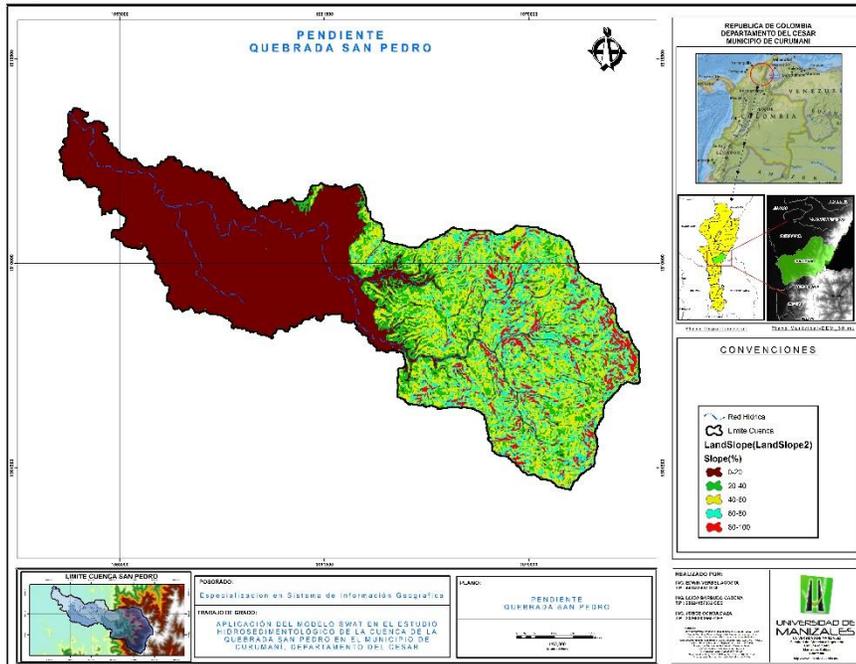
Fuente: ARCSWAT, 2012

De acuerdo al cruce de información del suelo, uso del suelo y la pendiente, el SWAT generó 348 unidades de respuesta hidrológica en la Quebrada San Pedro, correspondientes a zonas homogéneas en sus características geoclimáticas, las cuales pueden encontrarse dispersas pero tienen en común las propiedades hidrológicas, se puede observar en la Figura 12.

Al finalizar el procesamiento de la información espacial en conjunto con la información meteorológica, se obtuvo una precipitación acumulada anual de 1791 mm, una evapotranspiración real de 693 mm, la evapotranspiración potencial de

1734.7 mm, una escorrentía superficial de 721.9 mm, una recarga para los acuíferos profundos de 13.66 mm para un periodo de simulación de 24 años, se observa en la Figura 13.

Figura 11. Pendiente Quebrada San Pedro

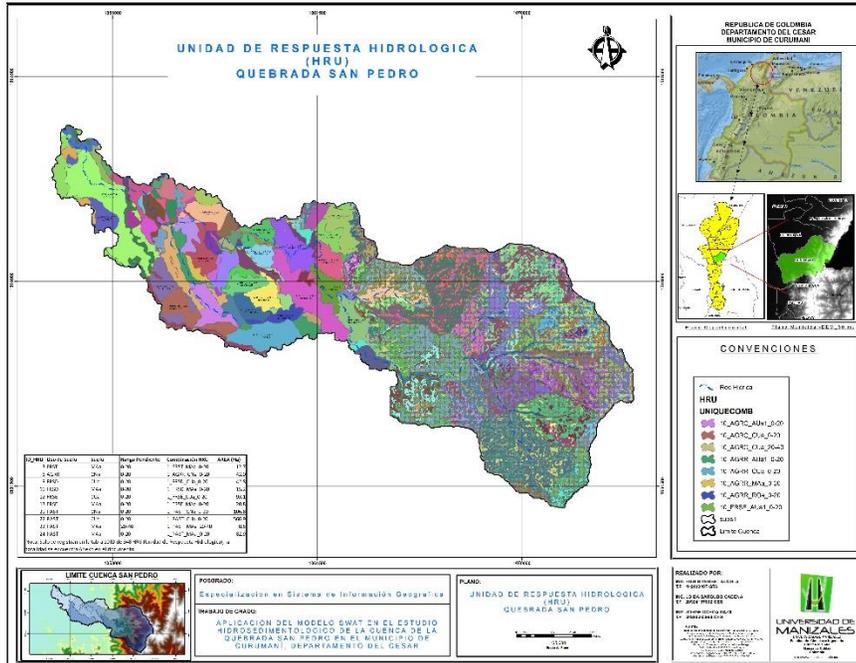


Fuente: ARCSWAT, 2012.

Una vez determinada la metodología para la generación de las URH, se designaron los valores para cada uno de los criterios, generándose 348 registros por el programa SWAT cómo se visualiza en la Figura 14, al relacionar la información espacial de unidades de suelo, uso actual del suelo, pendiente e información de las estaciones y se prosiguió a ponderar la información para conocer la localización de las zonas priorizadas que pueden ser un potencial de aportes de sedimentos para la cuenca de la quebrada San Pedro.

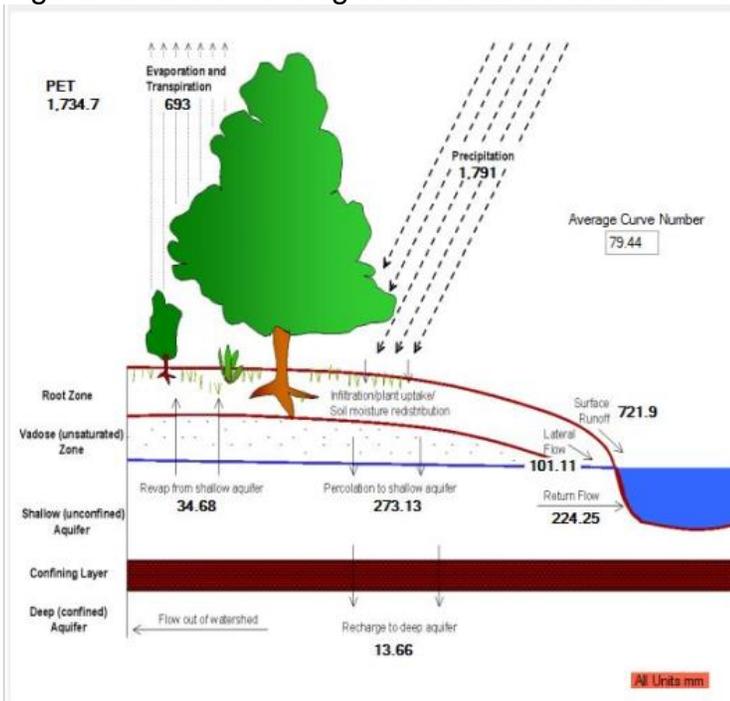
La clasificación de las zonas priorizadas corresponden a coberturas de terrenos con territorio Agrícolas y Bosques, con una formación Montañas y tipo de relieve de laderas, con escurrimiento difuso normal, en sectores remoción en masa con erosión laminar ligera, es decir, con procesos de erosión muy severos e incluye entre sus características zonas con pendientes principalmente fuertemente inclinadas y fuertemente escarpadas, de esta manera se puede clasificar como áreas para la producción de sedimentación como lo expresa el Cuadro 5, para la cuenca Quebrada San Pedro dio una carga total de sedimentos de 1613.9 T/Ha.

Figura 12. Unidad de respuesta hidrológica



Fuente: ARCSWAT, 2012.

Figura 13. Ciclo hidrológico de la Quebrada San Pedro



Fuente: ARCSWAT, 2012.

En consideración las URH priorizadas para la cuenca de la quebrada San Pedro con un potencial alto para la generación de sedimentos a la cuenca, corresponden al 6.2% de la totalidad del área de la cuenca.

Cuadro 5. Áreas para la producción de sedimentos

HRU	SUB-CUENCA	AREA (Ha)	SLOPE	USO ACTUAL	SUELO	UNIQUECOMB
133	9	46.98	80-9999	AGRR	BDef2	9_AGRR_BDef2_80-9999
286	16	159.95	40-60	FRSD	BDef2	16_FRSD_BDef2_40-60
208	12	20.24	80-9999	AGRR	BDef2	12_AGRR_BDef2_80-9999
132	9	191.67	60-80	AGRR	BDef2	9_AGRR_BDef2_60-80
131	9	358.02	40-60	AGRR	BDef2	9_AGRR_BDef2_40-60
207	12	107.513	40-60	AGRR	BDef2	12_AGRR_BDef2_40-60

Fuente: ARCSWAT, 2012

6.2 DISCUSIÓN DE RESULTADOS

Los resultados de la delimitación de la cuenca de la Quebrada San Pedro con el modelo hidrológico SWAT muestran diferencias con las delimitaciones realizadas en otros estudios similares como el Plan de Ordenamiento y Manejo de Cuencas (POMCA), estas se reflejan en la forma y el área de la cuenca, siendo la delimitación generada por el modelo más acertada teniendo en cuenta la red de drenajes y la dirección de flujo de las cuencas vecinas.

Aunque las series de datos climáticos de la estaciones del IDEAM tienen muchos datos faltantes y periodos no registrados, los parámetros hidrológicos de precipitación media anual muestran concordancia con las características climáticas de la zona y los valores de precipitación esperados debido a que la simulación se realiza con información real de estaciones existentes en la zona.

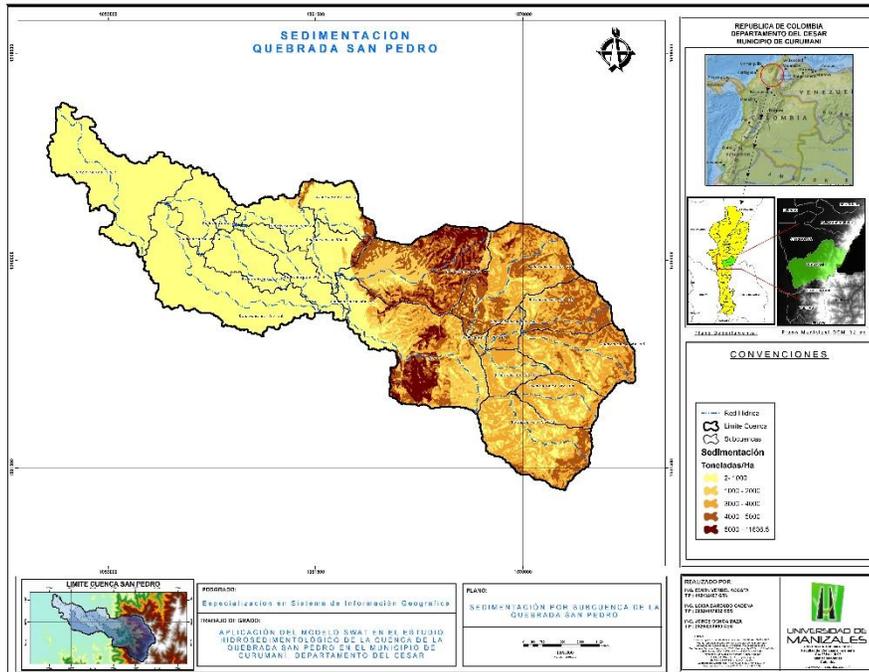
Con información más completa de datos de precipitación y con más estaciones el modelo puede generar información más ajustada a la realidad de los hidrológicos de la cuenca.

Los valores de carga de sedimentos de la cuenca, teniendo en cuenta las características fisicoquímicas de los suelos, el uso del suelo, el relieve del terreno y las variables climáticas se acercan a la realidad de los procesos erosivos y de acumulación de sedimentos en los lechos de los ríos que se han dado en la cuenca durante estos años.

La mayor carga de sedimentación se encuentra en las zonas de pendiente fuerte y de usos del suelo agrícola de acuerdo a las Unidades de Respuesta Hidrológicas

(HRU) esto puede demostrar una relación directa entre los procesos erosivos y de acumulación de sedimentos con las actividades agrícolas y el cambio de uso del suelo.

Figura 14. Sedimentación Quebrada San Pedro



Fuente: ARCSWAT, 2012.

7. CONCLUSIONES

- Se ha podido demostrar que aunque existen limitantes en cuanto a la información climática porque la información de las estaciones del IDEAM tienen muchos datos faltantes y por otra parte los estudios de suelos existentes son semidetallados, el modelo responde acertadamente a estas variables, generando unidades con referencia espacial que integran el tipo de suelo, uso del suelo, pendientes del terreno y el clima, para dar respuesta a hipótesis planteadas y generar información de los escenarios y los procesos existentes en la cuenca hidrográfica; de acuerdo a esto de mejorar las condiciones actuales de la red de estaciones climatológicas y pluviométricas existentes, los resultados serían más satisfactorios y con gran grado de confiabilidad.
- De acuerdo a la información obtenida de las Unidades de Respuesta Hidrológica (HRU) generadas por el modelo SWAT, los tributarios de la cuenca media-alta de la Quebrada San Pedro son los drenajes que acumulan la mayor carga de sedimentos en su lecho, y que estos procesos tienen una relación directa con las altas variaciones en las pendientes del terreno y los usos agrícolas existentes en estas zonas.
- La información obtenida con esta simulación es de gran importancia en el apoyo de la toma de decisiones y las regulaciones en materia ambiental del municipio, principalmente en los espacios económicos referentes al sector agrícola, ecológico y de servicios ambientales; generando así la gestión y planificación eficiente del recurso hídrico y del recurso suelo de la cuenca.

8. RECOMENDACIONES

- La modelación con datos espaciales aplicados en las herramientas SIG, para la estimación del balance hídrico de una cuenca representa una herramienta de gran utilidad en la planificación y manejo de cuencas, los cuales pueden ser utilizados para: a) el diseño de riego; b) selección de cultivos; c) estimación de rendimiento por carga de sedimentos por subcuencas los cuales pueden ser aprovechados para la extracción de material de arrastre para las concesiones mineras; e) estimación de la erosión; f) estimación de la escorrentía y drenaje; y h) especialización para la ubicación de cultivos y otros.
- En la implementación de modelos en los procesos de simulación para el ciclo hidrológico, se recomienda que los datos de las estaciones sean principalmente medidos en campo, periodos de reporte diarios; se encontró que los datos obtenidos de las estaciones del IDEAM, tienen datos faltantes, por lo que se implementó el llenado de los datos faltantes con el método de la modelación SWAT.
- Las autoridades ambientales deben implementar este tipo de herramientas de modelación para la planeación y gestión del territorio en las cuencas hidrográficas lo que contribuye a entender mejor los procesos naturales y antrópicos de la cuenca mediante modelaciones espaciales de este tipo, que tengan en cuenta las características biofísicas y geoespaciales de la cuenca para la generación de resultados.

BIBLIOGRAFÍA

FEDERICI, G., CUADRADO, D., & GÓMEZ, E. Procesos hidrosedimentológicos y Meteorológicos relacionados con la Sedimentación de un puerto. Geoacta (Asociación Argentina De Geofísicos Y Geodestas), 2004, 69-80 p.

HERNANDEZ, D. Impacto del Uso de la Tierra en la Generación de Caudales y Sedimentos: Caso Cuenca del Rio Tunjuelo - Cundinamarca. Bogotá. 2015.

HERNÁNDEZ GUERRA, Diana Alejandra. 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. Bogotá. 2015, 71 p. Trabajo de grado (Especialista en Recursos Hídricos). Universidad Católica DE Colombia, Facultades de Ingeniería, Especialización en Recursos Hídricos.

INSTITUTO GEOGRÁFICO AGUSTÍN CODAZZI. Estudio General de Suelos de los Municipios de Curumaní, Chimichagua, Chiriguaná y La Jagua De Ibirico. Bogotá. 1986, 203 p.

J. G., Arnold, J.R. Kiniry, R Srinivasan, J. R. Williams, E. B. Haney, y S.L. Neitsch Soil And Water Assessment Tool. Input/Output Documentation Versión 2012. Texas, 2012, 650 p.

LARAQUE, A., GUYOT, J., & POMBOSA, R. Hidroclimatología del Oriente e Hidrosedimentología de la Cuenca Del Napo. En P. Baby, M. Rivadeneira, & R. Barragán, La Cuenca Oriente. Lima. 2004,131-151 p.

MATA ESPINOSA, Hector. El modelo de simulación hidrológica swat aplicado en la cuenca del río amajac, hidalgo, méxico.Montecillo, 2008,169 p. Trabajo de grado (Maestro en Ciencias). Institución de Enseñanza e Investigación en Ciencias Agrícolas, Postgrado de Hidrociencias, Maestro en Ciencias.

RICHARDSON, C., Bucks, D. A., & Sadler, E. J. The Conservation Effects Assessment Project Benchmark Watersheds. Synthesis Of Preliminary Findings. Soil And Water Conservation Society., 63(6), 2008, 590-604 p.

URIBE, Natalia. Conceptos básicos y guía rápida del usuario. Versión SWAT 2005. Manual. 2010, 47 p.

**ANEXO A
PROPIEDADES Y RESULTADOS DE LAS VARIABLES DE LA CUENCA
QUEBRADA SAN PEDRO**

CONTENIDO

	Pág.
1. PROPIEDADES FÍSICAS Y QUÍMICAS DE LOS SUELOS QUEBRADA SAN PEDRO	44
2. ESTADISTICA UNIDAD DE RESULTADO HIDROLOGICA (HRU)	45

1. PROPIEDADES FÍSICAS Y QUÍMICAS DE LOS SUELOS QUEBRADA SAN PEDRO

NOMBRE	DENSIDAD APARENTE (g / cm ³)	CAPACIDAD DISPONIBLE DE AGUA (mmH ₂ O / mm del suelo)	CARBÓN ORGÁNICO %	CONDUCTIVIDAD HIDRÁULICA (mm / h)	ALBEDO
AGab1	1.43	0.15	1.34	21.09	0.24
	1.42	0.15	0.33	12.70	
	1.43	0.14	0.13	7.77	
	1.41	0.13	0.27	3.56	
	1.36	0.12	0.07	0.46	
AUa1	1.44	0.11	0.33	64.60	0.12
	1.44	0.11	0.20	54.83	
	1.36	0.13	0.13	1.89	
	1.39	0.12	0.13	1.43	
BDde2	1.43	0.12	2.24	1.96	0.13
	1.30	0.12	0.88	0.93	
	1.37	0.13	0.47	2.16	
BDef2	1.43	0.12	2.24	1.96	0.13
	1.30	0.12	0.88	0.93	
	1.37	0.13	0.47	2.16	
CÑa	1.45	0.12	0.47	37.06	0.09
	1.46	0.10	0.13	49.57	
	1.44	0.10	0.07	71.49	
	1.43	0.15	0.07	35.36	
	1.42	0.08	0.07	99.46	
CUa	1.38	0.17	0.93	11.33	0.04
	1.32	0.15	0.13	3.74	
	1.36	0.14	0.20	3.00	
	1.41	0.14	0.20	5.45	
GUef1	1.39	0.14	3.48	3.82	0.05
	1.41	0.13	1.21	2.23	
	1.37	0.14	0.61	4.09	
	1.45	0.13	0.28	9.55	
INde2	1.43	0.14	1.55	10.99	0.21
MAa	1.27	0.14	0.40	3.84	0.11
	1.25	0.11	2.97	1.58	
	1.24	0.12	3.18	2.09	

NOMBRE	DENSIDAD APARENTE (g / cm ³)	CAPACIDAD DISPONIBLE DE AGUA (mmH ₂ O / mm del suelo)	CARBÓN ORGÁNICO %	CONDUCTIVIDAD HIDRÁULICA (mm / h)	ALBEDO
	1.21	0.12	2.85	3.11	
ROa	1.41	0.17	0.87	18.64	0.04
	1.37	0.19	1.34	13.22	
	1.33	0.16	1.08	5.55	
	1.36	0.16	0.47	6.77	
	1.39	0.16	0.20	10.13	
	1.45	0.12	0.07	29.58	
	1.45	0.11	0.13	48.04	

2. ESTADISTICA UNIDAD DE RESULTADO HIDROLOGICA (HRU)

ID_HRU	SUB CUENCAS	USO DE SUELO	SUELO	RANGO PENDIENTE	COMBINACIÓN HRU	AREA (Ha)
1	1	FRST	AUa1	0-20	1_FRST_AUa1_0-20	83.0
2	1	FRST	CUa	0-20	1_FRST_CUa_0-20	30.2
3	1	FRST	MAa	0-20	1_FRST_MaA_0-20	12.7
4	1	FRST	ROa	0-20	1_FRST_ROa_0-20	13.4
5	1	AGRR	AUa1	0-20	1_AGRR_AUa1_0-20	0.1
6	1	AGRR	CÑa	0-20	1_AGRR_CÑa_0-20	43.0
7	1	AGRR	CUa	0-20	1_AGRR_CUa_0-20	121.2
8	1	AGRR	ROa	0-20	1_AGRR_ROa_0-20	13.4
9	1	FRSD	CUa	0-20	1_FRSD_CUa_0-20	42.8
10	1	FRSD	MAa	0-20	1_FRSD_MaA_0-20	15.2
11	1	FRSE	CUa	20-40	1_FRSE_CUa_20-40	0.3
12	1	FRSE	CUa	0-20	1_FRSE_CUa_0-20	93.1
13	1	FRSE	MAa	0-20	1_FRSE_MaA_0-20	20.8
14	1	FRSE	ROa	0-20	1_FRSE_ROa_0-20	24.6
15	1	AGRC	CÑa	0-20	1_AGRC_CÑa_0-20	1.0
16	1	AGRC	CUa	0-20	1_AGRC_CUa_0-20	49.7
17	1	AGRC	MAa	0-20	1_AGRC_MaA_0-20	14.4
18	1	AGRC	ROa	0-20	1_AGRC_ROa_0-20	87.1
19	1	PAST	AUa1	0-20	1_PAST_AUa1_0-20	60.3
20	1	PAST	CÑa	0-20	1_PAST_CÑa_0-20	106.8
21	1	PAST	CUa	20-40	1_PAST_CUa_20-40	0.2

ID_HRU	SUB CUENCAS	USO DE SUELO	SUELO	RANGO PENDIENTE	COMBINACIÓN HRU	AREA (Ha)
22	1	PAST	CUa	0-20	1_PAST_CUa_0-20	566.9
23	1	PAST	MAa	20-40	1_PAST_MAA_20-40	0.5
24	1	PAST	MAa	0-20	1_PAST_MAA_0-20	82.9
25	1	PAST	ROa	0-20	1_PAST_ROa_0-20	42.6
26	2	AGRR	AGab1	0-20	2_AGRR_AGab1_0-20	4.1
27	2	AGRR	AGab1	20-40	2_AGRR_AGab1_20-40	2.0
28	2	AGRR	BDde2	20-40	2_AGRR_BDde2_20-40	0.2
29	2	AGRR	BDde2	40-60	2_AGRR_BDde2_40-60	0.2
30	2	AGRR	BDde2	0-20	2_AGRR_BDde2_0-20	0.4
31	2	AGRR	ROa	0-20	2_AGRR_ROa_0-20	0.6
32	2	AGRR	ROa	20-40	2_AGRR_ROa_20-40	0.9
33	2	FRSE	AGab1	20-40	2_FRSE_AGab1_20-40	17.5
34	2	FRSE	AGab1	0-20	2_FRSE_AGab1_0-20	4.3
35	2	FRSE	AGab1	40-60	2_FRSE_AGab1_40-60	12.9
36	2	FRSE	AGab1	60-80	2_FRSE_AGab1_60-80	1.7
37	2	FRSE	AGab1	80-9999	2_FRSE_AGab1_80-9999	0.4
38	2	FRSE	BDde2	80-9999	2_FRSE_BDde2_80-9999	0.6
39	2	FRSE	BDde2	40-60	2_FRSE_BDde2_40-60	28.3
40	2	FRSE	BDde2	60-80	2_FRSE_BDde2_60-80	8.4
41	2	FRSE	BDde2	0-20	2_FRSE_BDde2_0-20	1.7
42	2	FRSE	BDde2	20-40	2_FRSE_BDde2_20-40	11.1
43	2	PAST	AGab1	60-80	2_PAST_AGab1_60-80	0.2
44	2	PAST	AGab1	40-60	2_PAST_AGab1_40-60	3.7
45	2	PAST	AGab1	0-20	2_PAST_AGab1_0-20	159.2
46	2	PAST	AGab1	20-40	2_PAST_AGab1_20-40	11.9
47	2	PAST	BDde2	60-80	2_PAST_BDde2_60-80	0.3
48	2	PAST	BDde2	0-20	2_PAST_BDde2_0-20	0.8
49	2	PAST	BDde2	20-40	2_PAST_BDde2_20-40	3.3
50	2	PAST	BDde2	40-60	2_PAST_BDde2_40-60	2.4
51	2	PAST	INde2	60-80	2_PAST_INde2_60-80	0.4
52	2	PAST	INde2	40-60	2_PAST_INde2_40-60	9.0
53	2	PAST	INde2	20-40	2_PAST_INde2_20-40	15.8
54	2	PAST	INde2	0-20	2_PAST_INde2_0-20	70.5
55	2	PAST	ROa	0-20	2_PAST_ROa_0-20	100.7
56	2	PAST	ROa	20-40	2_PAST_ROa_20-40	1.6
57	3	FRSE	MAa	0-20	3_FRSE_MAA_0-20	7.0

ID_HRU	SUB CUENCAS	USO DE SUELO	SUELO	RANGO PENDIENTE	COMBINACIÓN HRU	AREA (Ha)
58	3	FRSE	ROa	0-20	3_FRSE_ROa_0-20	1.2
59	3	AGRC	ROa	0-20	3_AGRC_ROa_0-20	4.2
60	3	PAST	MAa	0-20	3_PAST_MAa_0-20	26.6
61	3	PAST	ROa	0-20	3_PAST_ROa_0-20	20.9
62	4	AGR	AUa1	0-20	4_AGR_AUa1_0-20	93.8
63	4	AGR	MAa	0-20	4_AGR_MAa_0-20	144.3
64	4	AGR	ROa	0-20	4_AGR_ROa_0-20	130.0
65	4	FRSE	AUa1	0-20	4_FRSE_AUa1_0-20	1.3
66	4	FRSE	MAa	0-20	4_FRSE_MAa_0-20	2.7
67	4	FRSE	ROa	0-20	4_FRSE_ROa_0-20	7.8
68	4	AGRC	ROa	0-20	4_AGRC_ROa_0-20	43.6
69	4	AGRC	ROa	20-40	4_AGRC_ROa_20-40	0.3
70	4	PAST	AUa1	0-20	4_PAST_AUa1_0-20	4.6
71	4	PAST	MAa	0-20	4_PAST_MAa_0-20	49.2
72	4	PAST	ROa	20-40	4_PAST_ROa_20-40	0.2
73	4	PAST	ROa	0-20	4_PAST_ROa_0-20	52.2
74	5	AGR	MAa	0-20	5_AGR_MAa_0-20	24.9
75	5	AGR	ROa	0-20	5_AGR_ROa_0-20	39.8
76	5	FRSE	ROa	0-20	5_FRSE_ROa_0-20	0.8
77	5	AGRC	AUa1	0-20	5_AGRC_AUa1_0-20	0.1
78	5	PAST	AUa1	0-20	5_PAST_AUa1_0-20	45.3
79	5	PAST	MAa	0-20	5_PAST_MAa_0-20	96.1
80	5	PAST	ROa	0-20	5_PAST_ROa_0-20	56.6
81	5	URBN	AUa1	0-20	5_URBN_AUa1_0-20	101.8
82	5	URBN	MAa	0-20	5_URBN_MAa_0-20	0.1
83	5	URBN	ROa	0-20	5_URBN_ROa_0-20	124.5
84	6	AGR	AUa1	0-20	6_AGR_AUa1_0-20	23.5
85	6	AGR	ROa	0-20	6_AGR_ROa_0-20	359.2
86	6	AGR	ROa	20-40	6_AGR_ROa_20-40	0.1
87	6	FRSE	ROa	0-20	6_FRSE_ROa_0-20	22.0
88	6	AGRC	ROa	0-20	6_AGRC_ROa_0-20	76.1
89	6	PAST	ROa	20-40	6_PAST_ROa_20-40	0.2
90	6	PAST	ROa	0-20	6_PAST_ROa_0-20	32.7
91	6	URBN	ROa	0-20	6_URBN_ROa_0-20	3.0
92	7	AGR	INde2	0-20	7_AGR_INde2_0-20	0.1
93	7	AGR	ROa	0-20	7_AGR_ROa_0-20	205.8

ID_HRU	SUB CUENCAS	USO DE SUELO	SUELO	RANGO PENDIENTE	COMBINACIÓN HRU	AREA (Ha)
94	7	AGRR	ROa	20-40	7_AGRR_ROa_20-40	0.4
95	7	FRSE	ROa	0-20	7_FRSE_ROa_0-20	20.2
96	7	AGRC	ROa	0-20	7_AGRC_ROa_0-20	107.3
97	7	PAST	INde2	40-60	7_PAST_INde2_40-60	0.6
98	7	PAST	INde2	20-40	7_PAST_INde2_20-40	12.3
99	7	PAST	INde2	0-20	7_PAST_INde2_0-20	27.8
100	7	PAST	ROa	0-20	7_PAST_ROa_0-20	50.4
101	7	PAST	ROa	20-40	7_PAST_ROa_20-40	5.5
102	8	AGRR	BDde2	0-20	8_AGRR_BDde2_0-20	0.4
103	8	AGRR	BDde2	40-60	8_AGRR_BDde2_40-60	0.6
104	8	AGRR	BDde2	20-40	8_AGRR_BDde2_20-40	0.9
105	8	AGRR	ROa	0-20	8_AGRR_ROa_0-20	127.1
106	8	AGRR	ROa	20-40	8_AGRR_ROa_20-40	0.9
107	8	FRSE	AGab1	20-40	8_FRSE_AGab1_20-40	18.0
108	8	FRSE	AGab1	0-20	8_FRSE_AGab1_0-20	3.3
109	8	FRSE	AGab1	40-60	8_FRSE_AGab1_40-60	24.9
110	8	FRSE	AGab1	60-80	8_FRSE_AGab1_60-80	4.2
111	8	FRSE	AGab1	80-9999	8_FRSE_AGab1_80-9999	0.3
112	8	FRSE	BDde2	20-40	8_FRSE_BDde2_20-40	4.3
113	8	FRSE	BDde2	60-80	8_FRSE_BDde2_60-80	5.1
114	8	FRSE	BDde2	80-9999	8_FRSE_BDde2_80-9999	0.5
115	8	FRSE	BDde2	40-60	8_FRSE_BDde2_40-60	19.9
116	8	FRSE	ROa	60-80	8_FRSE_ROa_60-80	3.3
117	8	FRSE	ROa	40-60	8_FRSE_ROa_40-60	6.3
118	8	FRSE	ROa	20-40	8_FRSE_ROa_20-40	7.5
119	8	FRSE	ROa	0-20	8_FRSE_ROa_0-20	2.9
120	8	PAST	AGab1	0-20	8_PAST_AGab1_0-20	6.9
121	8	PAST	AGab1	20-40	8_PAST_AGab1_20-40	0.4
122	8	PAST	ROa	20-40	8_PAST_ROa_20-40	0.1
123	8	PAST	ROa	0-20	8_PAST_ROa_0-20	137.7
124	9	AGRR	BDde2	80-9999	9_AGRR_BDde2_80-9999	4.0
125	9	AGRR	BDde2	20-40	9_AGRR_BDde2_20-40	161.6
126	9	AGRR	BDde2	40-60	9_AGRR_BDde2_40-60	106.4
127	9	AGRR	BDde2	60-80	9_AGRR_BDde2_60-80	33.5
128	9	AGRR	BDde2	0-20	9_AGRR_BDde2_0-20	116.9
129	9	AGRR	BDef2	0-20	9_AGRR_BDef2_0-20	16.7

ID_HRU	SUB CUENCAS	USO DE SUELO	SUELO	RANGO PENDIENTE	COMBINACIÓN HRU	AREA (Ha)
130	9	AGRR	BDef2	20-40	9_AGRR_BDef2_20-40	173.7
131	9	AGRR	BDef2	40-60	9_AGRR_BDef2_40-60	358.0
132	9	AGRR	BDef2	60-80	9_AGRR_BDef2_60-80	191.7
133	9	AGRR	BDef2	80-9999	9_AGRR_BDef2_80-9999	47.0
134	9	AGRR	CÑa	40-60	9_AGRR_CÑa_40-60	6.5
135	9	AGRR	CÑa	20-40	9_AGRR_CÑa_20-40	31.3
136	9	AGRR	CÑa	0-20	9_AGRR_CÑa_0-20	29.7
137	9	AGRR	CÑa	60-80	9_AGRR_CÑa_60-80	0.3
138	9	AGRR	GUef1	80-9999	9_AGRR_GUef1_80-9999	5.8
139	9	AGRR	GUef1	20-40	9_AGRR_GUef1_20-40	4.4
140	9	AGRR	GUef1	0-20	9_AGRR_GUef1_0-20	1.3
141	9	AGRR	GUef1	40-60	9_AGRR_GUef1_40-60	11.6
142	9	AGRR	GUef1	60-80	9_AGRR_GUef1_60-80	10.3
143	9	AGRR	ROa	20-40	9_AGRR_ROa_20-40	1.3
144	9	AGRR	ROa	0-20	9_AGRR_ROa_0-20	18.8
145	9	AGRR	ROa	40-60	9_AGRR_ROa_40-60	0.1
146	9	FRSD	BDde2	20-40	9_FRSD_BDde2_20-40	0.1
147	9	FRSD	BDde2	0-20	9_FRSD_BDde2_0-20	0.8
148	9	FRSD	BDde2	40-60	9_FRSD_BDde2_40-60	0.3
149	9	FRSD	BDef2	0-20	9_FRSD_BDef2_0-20	4.1
150	9	FRSD	BDef2	20-40	9_FRSD_BDef2_20-40	16.4
151	9	FRSD	BDef2	40-60	9_FRSD_BDef2_40-60	20.1
152	9	FRSD	BDef2	60-80	9_FRSD_BDef2_60-80	4.8
153	9	FRSD	BDef2	80-9999	9_FRSD_BDef2_80-9999	0.6
154	9	FRSD	CÑa	20-40	9_FRSD_CÑa_20-40	2.5
155	9	FRSD	CÑa	40-60	9_FRSD_CÑa_40-60	1.1
156	9	FRSD	CÑa	60-80	9_FRSD_CÑa_60-80	0.1
157	9	FRSD	CÑa	0-20	9_FRSD_CÑa_0-20	0.8
158	9	FRSE	BDde2	60-80	9_FRSE_BDde2_60-80	1.3
159	9	FRSE	BDde2	40-60	9_FRSE_BDde2_40-60	2.9
160	9	FRSE	BDde2	20-40	9_FRSE_BDde2_20-40	4.0
161	9	FRSE	BDde2	80-9999	9_FRSE_BDde2_80-9999	0.3
162	9	FRSE	BDde2	0-20	9_FRSE_BDde2_0-20	0.5
163	9	FRSE	ROa	0-20	9_FRSE_ROa_0-20	1.6
164	9	FRSE	ROa	20-40	9_FRSE_ROa_20-40	3.0
165	10	FRST	AUa1	0-20	10_FRST_AUa1_0-20	34.2

ID_HRU	SUB CUENCAS	USO DE SUELO	SUELO	RANGO PENDIENTE	COMBINACIÓN HRU	AREA (Ha)
166	10	FRST	CUa	0-20	10_FRST_CUa_0-20	0.1
167	10	AGRR	AUa1	0-20	10_AGRR_AUa1_0-20	160.0
168	10	AGRR	CUa	0-20	10_AGRR_CUa_0-20	257.1
169	10	AGRR	MAa	0-20	10_AGRR_MAA_0-20	36.5
170	10	AGRR	ROa	0-20	10_AGRR_ROa_0-20	84.7
171	10	FRSE	AUa1	0-20	10_FRSE_AUa1_0-20	2.5
172	10	FRSE	AUa1	20-40	10_FRSE_AUa1_20-40	0.3
173	10	FRSE	CUa	0-20	10_FRSE_CUa_0-20	69.9
174	10	FRSE	CUa	20-40	10_FRSE_CUa_20-40	0.1
175	10	AGRC	AUa1	0-20	10_AGRC_AUa1_0-20	160.8
176	10	AGRC	CUa	0-20	10_AGRC_CUa_0-20	198.2
177	10	AGRC	CUa	20-40	10_AGRC_CUa_20-40	0.1
178	10	PAST	AUa1	0-20	10_PAST_AUa1_0-20	173.3
179	10	PAST	CUa	0-20	10_PAST_CUa_0-20	170.9
180	10	PAST	MAa	0-20	10_PAST_MAA_0-20	6.5
181	10	UIDU	AUa1	0-20	10_UIDU_AUa1_0-20	7.5
182	10	URBN	AUa1	0-20	10_URBN_AUa1_0-20	58.8
183	10	URBN	ROa	0-20	10_URBN_ROa_0-20	93.4
184	11	AGRR	GUef1	20-40	11_AGRR_GUef1_20-40	15.4
185	11	AGRR	GUef1	40-60	11_AGRR_GUef1_40-60	38.5
186	11	AGRR	GUef1	0-20	11_AGRR_GUef1_0-20	2.6
187	11	AGRR	GUef1	80-9999	11_AGRR_GUef1_80-9999	11.2
188	11	AGRR	GUef1	60-80	11_AGRR_GUef1_60-80	21.2
189	11	FRSD	GUef1	60-80	11_FRSD_GUef1_60-80	38.3
190	11	FRSD	GUef1	80-9999	11_FRSD_GUef1_80-9999	13.3
191	11	FRSD	GUef1	0-20	11_FRSD_GUef1_0-20	4.3
192	11	FRSD	GUef1	20-40	11_FRSD_GUef1_20-40	20.4
193	11	FRSD	GUef1	40-60	11_FRSD_GUef1_40-60	55.1
194	11	FRSE	GUef1	60-80	11_FRSE_GUef1_60-80	134.7
195	11	FRSE	GUef1	80-9999	11_FRSE_GUef1_80-9999	59.0
196	11	FRSE	GUef1	40-60	11_FRSE_GUef1_40-60	144.0
197	11	FRSE	GUef1	20-40	11_FRSE_GUef1_20-40	39.7
198	11	FRSE	GUef1	0-20	11_FRSE_GUef1_0-20	5.8
199	11	PAST	GUef1	20-40	11_PAST_GUef1_20-40	2.9
200	11	PAST	GUef1	40-60	11_PAST_GUef1_40-60	16.9
201	11	PAST	GUef1	60-80	11_PAST_GUef1_60-80	12.6

ID_HRU	SUB CUENCAS	USO DE SUELO	SUELO	RANGO PENDIENTE	COMBINACIÓN HRU	AREA (Ha)
202	11	PAST	GUef1	80-9999	11_PAST_GUef1_80-9999	4.0
203	11	PAST	GUef1	0-20	11_PAST_GUef1_0-20	0.7
204	12	AGRR	BDef2	20-40	12_AGRR_BDef2_20-40	53.7
205	12	AGRR	BDef2	60-80	12_AGRR_BDef2_60-80	55.0
206	12	AGRR	BDef2	0-20	12_AGRR_BDef2_0-20	12.7
207	12	AGRR	BDef2	40-60	12_AGRR_BDef2_40-60	107.5
208	12	AGRR	BDef2	80-9999	12_AGRR_BDef2_80-9999	20.2
209	12	AGRR	GUef1	40-60	12_AGRR_GUef1_40-60	116.6
210	12	AGRR	GUef1	20-40	12_AGRR_GUef1_20-40	48.0
211	12	AGRR	GUef1	0-20	12_AGRR_GUef1_0-20	11.6
212	12	AGRR	GUef1	60-80	12_AGRR_GUef1_60-80	102.0
213	12	AGRR	GUef1	80-9999	12_AGRR_GUef1_80-9999	49.0
214	12	FRSD	GUef1	40-60	12_FRSD_GUef1_40-60	22.0
215	12	FRSD	GUef1	0-20	12_FRSD_GUef1_0-20	2.2
216	12	FRSD	GUef1	20-40	12_FRSD_GUef1_20-40	10.3
217	12	FRSD	GUef1	60-80	12_FRSD_GUef1_60-80	12.0
218	12	FRSD	GUef1	80-9999	12_FRSD_GUef1_80-9999	3.7
219	12	FRSE	BDef2	40-60	12_FRSE_BDef2_40-60	0.6
220	12	FRSE	BDef2	60-80	12_FRSE_BDef2_60-80	0.2
221	12	FRSE	GUef1	40-60	12_FRSE_GUef1_40-60	259.0
222	12	FRSE	GUef1	0-20	12_FRSE_GUef1_0-20	6.4
223	12	FRSE	GUef1	20-40	12_FRSE_GUef1_20-40	105.2
224	12	FRSE	GUef1	80-9999	12_FRSE_GUef1_80-9999	47.7
225	12	FRSE	GUef1	60-80	12_FRSE_GUef1_60-80	181.2
226	12	PAST	GUef1	80-9999	12_PAST_GUef1_80-9999	7.3
227	12	PAST	GUef1	20-40	12_PAST_GUef1_20-40	7.2
228	12	PAST	GUef1	60-80	12_PAST_GUef1_60-80	13.6
229	12	PAST	GUef1	0-20	12_PAST_GUef1_0-20	0.7
230	12	PAST	GUef1	40-60	12_PAST_GUef1_40-60	20.6
231	13	AGRR	BDef2	80-9999	13_AGRR_BDef2_80-9999	1.9
232	13	AGRR	BDef2	0-20	13_AGRR_BDef2_0-20	2.0
233	13	AGRR	BDef2	40-60	13_AGRR_BDef2_40-60	5.5
234	13	AGRR	BDef2	20-40	13_AGRR_BDef2_20-40	3.7
235	13	AGRR	BDef2	60-80	13_AGRR_BDef2_60-80	2.5
236	13	AGRR	GUef1	80-9999	13_AGRR_GUef1_80-9999	7.6
237	13	AGRR	GUef1	0-20	13_AGRR_GUef1_0-20	2.1

ID_HRU	SUB CUENCAS	USO DE SUELO	SUELO	RANGO PENDIENTE	COMBINACIÓN HRU	AREA (Ha)
238	13	AGRR	GUef1	60-80	13_AGRR_GUef1_60-80	3.4
239	13	AGRR	GUef1	20-40	13_AGRR_GUef1_20-40	4.2
240	13	AGRR	GUef1	40-60	13_AGRR_GUef1_40-60	7.2
241	13	FRSE	GUef1	40-60	13_FRSE_GUef1_40-60	7.5
242	13	FRSE	GUef1	20-40	13_FRSE_GUef1_20-40	1.4
243	13	FRSE	GUef1	60-80	13_FRSE_GUef1_60-80	2.0
244	14	AGRR	GUef1	20-40	14_AGRR_GUef1_20-40	7.2
245	14	AGRR	GUef1	60-80	14_AGRR_GUef1_60-80	39.2
246	14	AGRR	GUef1	80-9999	14_AGRR_GUef1_80-9999	20.6
247	14	AGRR	GUef1	40-60	14_AGRR_GUef1_40-60	31.1
248	14	AGRR	GUef1	0-20	14_AGRR_GUef1_0-20	3.8
249	14	FRSE	GUef1	0-20	14_FRSE_GUef1_0-20	1.5
250	14	FRSE	GUef1	80-9999	14_FRSE_GUef1_80-9999	21.7
251	14	FRSE	GUef1	40-60	14_FRSE_GUef1_40-60	17.4
252	14	FRSE	GUef1	60-80	14_FRSE_GUef1_60-80	31.3
253	14	FRSE	GUef1	20-40	14_FRSE_GUef1_20-40	4.4
254	15	AGRR	GUef1	60-80	15_AGRR_GUef1_60-80	164.5
255	15	AGRR	GUef1	0-20	15_AGRR_GUef1_0-20	12.5
256	15	AGRR	GUef1	40-60	15_AGRR_GUef1_40-60	194.7
257	15	AGRR	GUef1	20-40	15_AGRR_GUef1_20-40	73.1
258	15	AGRR	GUef1	80-9999	15_AGRR_GUef1_80-9999	76.8
259	15	FRSD	GUef1	0-20	15_FRSD_GUef1_0-20	3.5
260	15	FRSD	GUef1	20-40	15_FRSD_GUef1_20-40	25.6
261	15	FRSD	GUef1	60-80	15_FRSD_GUef1_60-80	57.9
262	15	FRSD	GUef1	40-60	15_FRSD_GUef1_40-60	64.1
263	15	FRSD	GUef1	80-9999	15_FRSD_GUef1_80-9999	16.3
264	15	FRSE	GUef1	20-40	15_FRSE_GUef1_20-40	25.0
265	15	FRSE	GUef1	60-80	15_FRSE_GUef1_60-80	61.2
266	15	FRSE	GUef1	80-9999	15_FRSE_GUef1_80-9999	70.0
267	15	FRSE	GUef1	0-20	15_FRSE_GUef1_0-20	6.0
268	15	FRSE	GUef1	40-60	15_FRSE_GUef1_40-60	41.0
269	16	AGRR	BDef2	80-9999	16_AGRR_BDef2_80-9999	17.0
270	16	AGRR	BDef2	0-20	16_AGRR_BDef2_0-20	70.1
271	16	AGRR	BDef2	20-40	16_AGRR_BDef2_20-40	277.2
272	16	AGRR	BDef2	40-60	16_AGRR_BDef2_40-60	296.1
273	16	AGRR	BDef2	60-80	16_AGRR_BDef2_60-80	91.3

ID_HRU	SUB CUENCAS	USO DE SUELO	SUELO	RANGO PENDIENTE	COMBINACIÓN HRU	AREA (Ha)
274	16	AGRR	CÑa	0-20	16_AGRR_CÑa_0-20	4.5
275	16	AGRR	CÑa	40-60	16_AGRR_CÑa_40-60	0.6
276	16	AGRR	CÑa	20-40	16_AGRR_CÑa_20-40	6.0
277	16	AGRR	GUef1	20-40	16_AGRR_GUef1_20-40	49.9
278	16	AGRR	GUef1	40-60	16_AGRR_GUef1_40-60	136.9
279	16	AGRR	GUef1	80-9999	16_AGRR_GUef1_80-9999	29.8
280	16	AGRR	GUef1	60-80	16_AGRR_GUef1_60-80	93.5
281	16	AGRR	GUef1	0-20	16_AGRR_GUef1_0-20	5.7
282	16	AGRR	ROa	40-60	16_AGRR_ROa_40-60	6.5
283	16	AGRR	ROa	0-20	16_AGRR_ROa_0-20	176.1
284	16	AGRR	ROa	20-40	16_AGRR_ROa_20-40	21.0
285	16	FRSD	BDef2	80-9999	16_FRSD_BDef2_80-9999	15.4
286	16	FRSD	BDef2	40-60	16_FRSD_BDef2_40-60	159.9
287	16	FRSD	BDef2	60-80	16_FRSD_BDef2_60-80	58.8
288	16	FRSD	BDef2	0-20	16_FRSD_BDef2_0-20	46.0
289	16	FRSD	BDef2	20-40	16_FRSD_BDef2_20-40	127.0
290	16	FRSD	CÑa	20-40	16_FRSD_CÑa_20-40	11.1
291	16	FRSD	CÑa	0-20	16_FRSD_CÑa_0-20	2.1
292	16	FRSD	CÑa	60-80	16_FRSD_CÑa_60-80	0.2
293	16	FRSD	CÑa	40-60	16_FRSD_CÑa_40-60	2.6
294	16	FRSD	GUef1	20-40	16_FRSD_GUef1_20-40	0.2
295	16	FRSD	GUef1	40-60	16_FRSD_GUef1_40-60	0.3
296	16	FRSD	ROa	60-80	16_FRSD_ROa_60-80	0.2
297	16	FRSD	ROa	0-20	16_FRSD_ROa_0-20	0.8
298	16	FRSD	ROa	20-40	16_FRSD_ROa_20-40	4.7
299	16	FRSD	ROa	40-60	16_FRSD_ROa_40-60	11.3
300	16	FRSE	ROa	0-20	16_FRSE_ROa_0-20	18.5
301	16	PAST	ROa	40-60	16_PAST_ROa_40-60	0.1
302	16	PAST	ROa	20-40	16_PAST_ROa_20-40	1.1
303	16	PAST	ROa	0-20	16_PAST_ROa_0-20	73.1
304	17	AGRR	GUef1	80-9999	17_AGRR_GUef1_80-9999	33.4
305	17	AGRR	GUef1	0-20	17_AGRR_GUef1_0-20	11.5
306	17	AGRR	GUef1	20-40	17_AGRR_GUef1_20-40	47.3
307	17	AGRR	GUef1	40-60	17_AGRR_GUef1_40-60	125.7
308	17	AGRR	GUef1	60-80	17_AGRR_GUef1_60-80	91.2
309	17	FRSE	GUef1	80-9999	17_FRSE_GUef1_80-9999	5.8

ID_HRU	SUB CUENCAS	USO DE SUELO	SUELO	RANGO PENDIENTE	COMBINACIÓN HRU	AREA (Ha)
310	17	FRSE	GUef1	40-60	17_FRSE_GUef1_40-60	16.7
311	17	FRSE	GUef1	20-40	17_FRSE_GUef1_20-40	1.9
312	17	FRSE	GUef1	0-20	17_FRSE_GUef1_0-20	0.3
313	17	FRSE	GUef1	60-80	17_FRSE_GUef1_60-80	21.6
314	18	AGRR	GUef1	20-40	18_AGRR_GUef1_20-40	88.5
315	18	AGRR	GUef1	60-80	18_AGRR_GUef1_60-80	107.0
316	18	AGRR	GUef1	0-20	18_AGRR_GUef1_0-20	6.9
317	18	AGRR	GUef1	80-9999	18_AGRR_GUef1_80-9999	40.4
318	18	AGRR	GUef1	40-60	18_AGRR_GUef1_40-60	179.9
319	18	FRSD	GUef1	60-80	18_FRSD_GUef1_60-80	8.0
320	18	FRSD	GUef1	80-9999	18_FRSD_GUef1_80-9999	0.2
321	18	FRSD	GUef1	0-20	18_FRSD_GUef1_0-20	1.6
322	18	FRSD	GUef1	20-40	18_FRSD_GUef1_20-40	13.3
323	18	FRSD	GUef1	40-60	18_FRSD_GUef1_40-60	29.6
324	18	FRSE	GUef1	80-9999	18_FRSE_GUef1_80-9999	8.6
325	18	FRSE	GUef1	0-20	18_FRSE_GUef1_0-20	1.7
326	18	FRSE	GUef1	20-40	18_FRSE_GUef1_20-40	8.6
327	18	FRSE	GUef1	40-60	18_FRSE_GUef1_40-60	21.6
328	18	FRSE	GUef1	60-80	18_FRSE_GUef1_60-80	19.3
329	19	AGRR	GUef1	80-9999	19_AGRR_GUef1_80-9999	79.5
330	19	AGRR	GUef1	0-20	19_AGRR_GUef1_0-20	20.1
331	19	AGRR	GUef1	60-80	19_AGRR_GUef1_60-80	245.9
332	19	AGRR	GUef1	20-40	19_AGRR_GUef1_20-40	154.6
333	19	AGRR	GUef1	40-60	19_AGRR_GUef1_40-60	361.3
334	19	FRSD	GUef1	40-60	19_FRSD_GUef1_40-60	4.0
335	19	FRSD	GUef1	80-9999	19_FRSD_GUef1_80-9999	0.1
336	19	FRSD	GUef1	60-80	19_FRSD_GUef1_60-80	2.3
337	19	FRSD	GUef1	0-20	19_FRSD_GUef1_0-20	0.2
338	19	FRSD	GUef1	20-40	19_FRSD_GUef1_20-40	0.8
339	19	FRSE	GUef1	0-20	19_FRSE_GUef1_0-20	3.2
340	19	FRSE	GUef1	20-40	19_FRSE_GUef1_20-40	18.8
341	19	FRSE	GUef1	40-60	19_FRSE_GUef1_40-60	71.7
342	19	FRSE	GUef1	80-9999	19_FRSE_GUef1_80-9999	37.9
343	19	FRSE	GUef1	60-80	19_FRSE_GUef1_60-80	74.7
344	19	PAST	GUef1	60-80	19_PAST_GUef1_60-80	12.0
345	19	PAST	GUef1	80-9999	19_PAST_GUef1_80-9999	3.7

ID_HRU	SUB CUENCAS	USO DE SUELO	SUELO	RANGO PENDIENTE	COMBINACIÓN HRU	AREA (Ha)
346	19	PAST	GUef1	40-60	19_PAST_GUef1_40-60	16.2
347	19	PAST	GUef1	0-20	19_PAST_GUef1_0-20	1.5
348	19	PAST	GUef1	20-40	19_PAST_GUef1_20-40	5.4