

Universidad
Señor de Sipán

**FACULTAD DE INGENIERIA, ARQUITECTURA Y
URBANISMO**

ESCUELA DE INGENIERIA CIVIL

TESIS

**Evaluación de la Deposición Sedimentológica en la
Subcuenca Racarrumi - Chancay-Lambayeque Utilizando
la Aplicación del Modelo SWAT**

PARA OPTAR EL TÍTULO PROFESIONAL DE:

INGENIERO CIVIL

Autor:

Bach. Burga Carrasco Jhonathan Janmarco

(<https://orcid.org/0000-0002-5249-1871>)

Asesor:

Dr. Ing. Marín Bardales Noé Humberto

(<https://orcid.org/0000-0003-3423-1731>)

Línea de Investigación:

Infraestructura Tecnología y Medio Ambiente

Pimentel – Perú

2023

**EVALUACIÓN DE LA DEPOSICIÓN SEDIMENTOLÓGICA EN LA SUBCUENCA
RACARRUMI - CHANCAY-LAMBAYEQUE UTILIZANDO LA APLICACIÓN DEL
MODELO SWAT**

Aprobación de tesis

MG. ING. CACERES SANTIN ENRIQUE DANIEL

Presidente

MBA. ING. PATAZCA ROJAS PEDRO RAMÓN

Secretario

MG. ING. SEGURA SAAVEDRA WISTON ENRIQUE

Vocal

DECLARACIÓN JURADA DE ORIGINALIDAD

Quien suscribe la **DECLARACIÓN JURADA**, soy egresada del Programa de Estudios de la Escuela Profesional de **INGENIERÍA CIVIL** de la Universidad Señor de Sipán S.A.C, declaro bajo juramento que soy autor del trabajo titulado:

EVALUACION DE LA DEPOSICION SEDIMENTOLOGICA EN LA SUBCUENCA RACARRUMI - CHANCAY-LAMBAYEQUE UTILIZANDO LA APLICACIÓN DEL MODELO SWAT

El texto de mi trabajo de investigación responde y respeta lo indicado en el Código de Ética del Comité Institucional de Ética en Investigación de la Universidad Señor de Sipán (CIEI USS) conforme a los principios y lineamientos detallados en dicho documento, en relación a las citas y referencias bibliográficas, respetando al derecho de propiedad intelectual, por lo cual informo que la investigación cumple con ser inédito, original y autentico.

En virtud de lo antes mencionado, firma:

APELLIDOS Y NOMBRES	NÚMERO DE DOCUMENTO DE IDENTIDAD	FIRMA
Burga Carrasco Jhonathan Janmarco	77434806	

* Porcentaje de similitud turnitin:13%

Pimentel, 03 Julio del 2023

Reporte de similitud

NOMBRE DEL TRABAJO
BurgaCarrasco_Jhonathan

<p>RECuento DE PALABRAS 13395 Words</p>	<p>RECuento DE CARACTERES 72125 Characters</p>
<p>RECuento DE PÁGINAS 77 Pages</p>	<p>TAMAÑO DEL ARCHIVO 4.5MB</p>
<p>FECHA DE ENTREGA Aug 21, 2023 3:53 PM GMT-5</p>	<p>FECHA DEL INFORME Aug 21, 2023 3:54 PM GMT-5</p>

● **13% de similitud general**
El total combinado de todas las coincidencias, incluidas las fuentes superpuestas, para cada base

- 11% Base de datos de Internet
- Base de datos de Crossref
- 8% Base de datos de trabajos entregados
- 6% Base de datos de publicaciones
- Base de datos de contenido publicado de Cross

● **Excluir del Reporte de Similitud**

- Material bibliográfico
- Coincidencia baja (menos de 8 palabras)
- Material citado

Dedicatoria

Dedico esta investigación a mis padres Gerson Burga y María Carrasco por la motivación a diario para poder alcanzar mis metas, por creer en mí y por brindarme su apoyo incondicional en el transcurso de mi carrera.

Burga Carrasco Jhonathan Janmarco

Agradecimiento

Agradezco a Dios por a ver cuidado de mí de mi familia y por dame la fuerza para poder seguir día a día.

A mis padres por darme la oportunidad de ser profesional, a mi familia por animarme a seguir y no rendirme, a los ingenieros por sus conocimientos impartidos.

Burga Carrasco Jhonathan Janmarco

INDICE

Dedicatoria.....	iv
Agradecimiento.....	v
Índice de tablas.....	vii
Índice de figuras.....	viii
Resumen	x
Abstract.....	xi
I. INTRODUCCIÓN.....	12
1.1. Realidad Problemática.....	12
1.2. Formulación del Problema.....	19
1.3. Hipótesis	19
1.4. Objetivos	19
1.5. Teorías relacionadas	20
II. MÉTODO	32
2.1. Tipo y Diseño de Investigación.....	32
2.2. Variables, Operacionalización.....	32
2.3. Población y muestra.....	34
2.4. Técnicas e instrumentos de recolección de datos, validez y confiabilidad	34
2.5. Procedimiento de análisis de datos	35
2.6. Criterios éticos	37
III. RESULTADOS	38
3.1. Resultados.....	38
IV. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....	86
4.1. Conclusiones	86
4.2. Recomendaciones	87
REFERENCIAS.....	89
ANEXOS	93

Índice de tablas

Tabla I	33
Tabla II	34
Tabla III	39
Tabla IV	43
Tabla V	45
Tabla VI	48
Tabla VII	50
Tabla VIII	73
Tabla IX	81
Tabla X	83

Índice de figuras.

Fig. 1. Representación del ciclo del agua en la hidrología. [26].....	20
Fig. 2. Modelo del D. de Hjulstrom. [31]	25
Fig. 3. Elementos para el modelado de cuencas en SWAT. [16].....	31
Fig. 4. Procesamiento de información para obtención de resultados.....	36
Fig. 5. Ubicación satelital de la subcuenca Racarrumi. [38]	38
Fig. 6. Mapa de zonas climáticas en la subcuenca Racarrumi.....	41
Fig. 7. Mapa de cobertura vegetal en la subcuenca Racarrumi	42
Fig. 8. Mapa de capacidad de uso mayor de suelos en la subcuenca Racarrumi.....	44
Fig. 9. Mapa de zonas vulnerables en la subcuenca Racarrumi.....	47
Fig. 10. Modelo de elevación digital de la subcuenca.	49
Fig. 11. Mapa de uso de cobertura de la subcuenca.....	50
Fig. 12. Proceso mapa de tipo de suelos FAO.	51
Fig. 13. Mapa de tipo de suelos FAO.	52
Fig. 14. Estaciones virtuales CFSR utilizadas en la zona de estudio.....	53
Fig. 15. Generación en RStudio de archivos en formato compatible con SWAT.	54
Fig. 16. Estaciones virtuales CHRS: (a) Estaciones generadas por PERSIANN-CDR (b) Estaciones generadas por PERSIAN-CCS-CDR	54
Fig. 17. Mapas de estaciones virtuales CHRS: (a) Estaciones PERSIANN-CDR (b) Estaciones PERSIAN-CCS-CDR.	56
Fig. 18. Porcentajes de anomalías anuales de precipitación en la subcuenca: (a) PERSIANN-CDR y (b) PERSIAN-CCS-CDR.....	57
Fig. 19. Mapa de estaciones meteorológicas SENAMHI.	58
Fig. 20. Gráfico de histograma de la estación Chancay Baños. [39]	59
Fig. 21. Gráfico de histograma de la estación Chugur. [39].....	60
Fig. 22. Gráfico de histograma de la estación Cochabamba. [39]	61
Fig. 23. Gráfico de histograma de la estación Querocotillo. [39].....	62
Fig. 24. Gráfico de histograma de la estación Udima. [39].....	63
Fig. 25. Gráfico de histograma de la estación Llama. [39].....	64
Fig. 26. Generación en RStudio de archivos “pp”, “Tmax” y “Tmin.....	65
Fig. 27. Estaciones virtuales PISCO de la zona de estudio.	65
Fig. 28. Porcentajes de anomalías anuales de precipitación PISCO en la subcuenca.....	66
Fig. 29: Registro histórico de caudales observados en punto de aforo de la subcuenca. Fuente: PEOT	67
Fig. 30. Delimitación de subcuencas.	68
Fig. 31. Configuración para HRU’s.....	69
Fig. 32. Configuración para simulación del modelo SWAT.	70
Fig. 33. Reporte de salida del modelo SWAT simulado.....	71
Fig. 34. Correlación espacial de los valores de escorrentía a partir de la data climática.....	72
Fig. 35. Evaluación de parámetros sensibles.	74
Fig. 36. Diagrama de dispersión de descargas en la fase de calibración: (a) dispersión de flujo diario antes y (b) dispersión de flujo diario después.	78
Fig. 37. Hidrogramas de descargas observadas y simuladas (antes y después) en la fase de calibración.	79
Fig. 38. Diagrama de dispersión de descargas observadas y simuladas en la fase de validación.....	80
Fig. 39. Hidrogramas de descargas observadas y simuladas en la fase de validación.....	80

Fig. 40. Mapa de distribución: (a) uso de suelos, (b) tipo de suelos de la subcuenca. 82

Fig. 41. Comparación del rendimiento de sedimentos y precipitación media mensual por subcuencas.
..... 84

Resumen

El efecto erosivo del suelo amenaza los recursos naturales, y genera un grave impacto ambiental en el estado ecológico de las grandes masas de agua dulce en el mundo sobre todo en la capacidad y calidad de agua. La presente investigación tiene como objetivo evaluar la deposición de sedimentos en una subcuenca del río Chancay en Perú, mediante el modelo Soil and Water Assessment Tool (SWAT). El método consistió en utilizar el Sistema de Información Geográfica del satélite ALOS para la generación del DEM, GlobaLand30 para el uso de cobertura y FAO-UNESCO para el tipo de suelo; además se analizaron los factores climáticos disponibles en la subcuenca, para ello se usaron varias fuentes de datos; dos datos climáticos mundiales (CFSR y CHRS) y dos nacionales (grillado de PISCO y de SENAMHI). Los resultados de las calibraciones demuestran la eficiencia del modelo; los parámetros más sensibles e influyentes (ESCO, GWQMN y CN2) lograron ajustar los valores simulados a los observados en rangos aceptables y satisfactorios, por tanto, fue posible calcular la tasa erosiva de la cuenca, donde se obtuvo que las subcuencas 4 y 5 se distinguieron con mayor rendimiento de sedimentos. Se concluye que el modelo es capaz de predecir el flujo de escorrentía y sedimentación, por ende, esta herramienta puede ayudar en la planificación, gestión de los recursos hídricos, predicción de los impactos del uso de suelos y afectación de la disponibilidad de agua.

Palabras clave: sedimentos, modelo SWAT, factores climáticos, datos espaciales, calibración.

Abstract

The erosive effect of the soil threatens natural resources, and generates a serious environmental impact on the ecological state of the great masses of fresh water in the world, especially in the capacity and quality of water. The objective of this research is to evaluate the sediment deposition in a sub-basin of the Chancay river in Peru, through the Soil and Water Assessment Tool (SWAT) model. The method consisted of using the Geographic Information System of the ALOS satellite for the generation of the DEM, GlobaLand30 for the use of cover and FAO-UNESCO for the type of soil; In addition, the climatic factors available in the sub-basin were analyzed, for which various data sources were used; two global climatic data (CFSR and CHRS) and two national (PISCO and SENAMHI grid). The results of the calibrations demonstrate the efficiency of the model; the most sensitive and influential parameters (ESCO, GWQMN and CN2) managed to adjust the simulated values to those observed in acceptable and satisfactory ranges, therefore, it was possible to calculate the erosive rate of the basin, where it was obtained that sub-basins 4 and 5 were distinguished with higher yield of sediments. It is concluded that the model is capable of predicting the flow of runoff and sedimentation, therefore, this tool can help in planning, management of water resources, prediction of the impacts of land use and affectation of water availability.

Keywords: sediments, SWAT model, climatic factors, spatial data, calibratio

I. INTRODUCCIÓN

1.1. Realidad Problemática.

En el diseño y operación de los reservorios, la sedimentación es el principal problema que provoca la reducción de la capacidad de almacenamiento de agua; seguidamente se presenta la escasez de disponibilidad para diferentes actividades y usos como son los de riego, industriales y domésticos [1].

En diferentes partes del mundo el problema grave es la erosión del suelo provocado por el agua, que degrada las tierras agrícolas dependiendo las practicas que realicen; por lo cual esto genera el aumento de tasas de erosión y sedimentación del suelo, esto ocasiona la reducción de capacidad de almacenamiento en los embalses en la cuenca superior del Nilo Azul [2].

Los científicos están interesados en evaluar el impacto climático a nivel de cuenca puesto que representa un conflicto mundial y regional, en estas áreas geográficas se formulan estrategias como la variabilidad de los patrones de lluvia dinámica, tanto en el espacio como en el tiempo para prevenir los impactos negativos y asimismo aumentar la seguridad hídrica [3].

En los lugares altos del norte y del noreste de Etiopia es donde mayor daño ha sufrido sus recursos del suelo y a la vez es el país más afectado por el hambre, esto se debe por las sequias frecuentes que existen, por ellos es necesario identificar los problemas de erosión en la cuenca [4].

Los estudios han demostrado que la producción de sedimentos en el embalse es de gran peligro para la capacidad de almacenamiento, por ejemplo, en la presa de Shiroro al norte de Nigeria los procesos hidrológicos son fundamental para el sistema de transporte, ya que su funcionabilidad optima puede generar lo suficiente para alimentar alrededor de 404.000 hogares [5].

El desarrollo de estrategias económicas y sociopolíticas es aplicado por la necesidad de la situación de recursos hídricos, además es indispensable para promover el uso sostenible del agua, esto fue manifestado en la Cumbre de la Tierra organizada por las naciones unidas a través de la planificación y gestión integrada del uso de la tierra [6].

En la cuenca del Rio Carcarañá se cuenta con pocas estaciones de medición de arroyos y otras estaciones meteorológicas como calidad de agua a pesar de que es un líder mundial en la producción y exportación de productos agrícolas se dispone de datos hidrológicos limitados, por tanto, la evaluación de sus recursos hídricos carece de resultados óptimos [7].

Para reducir el exceso de sedimentos y el fosforo los cuales son los principales causantes de deterioro en las aguas superficiales donde con la generación de floraciones de algas toxicas, muerte de peces, pérdida de biodiversidad y deficiencia de oxígeno, por ello se debe construir áreas sensibles que contribuyan específicamente a los arroyos [8].

En su estrategia temática de suelos tiene como fin de fomentar conciencia en la población del gran problema del impacto en la calidad de agua y la erosión del suelo. Por ejemplo, En Europa y otras partes del mundo el problema más común es la degradación de la tierra, si bien el ecosistema juega un papel importante para el proceso de la degradación sea lento [9].

En el proceso hidrológico en producción de sedimentos y la escorrentía en la zona, es causada por la erosión del suelo y perdida de agua a ello se le suma el deterioro de la tierra y la escasez de agua, los estudios se concentran en las simulaciones de la actividad humana y la interferencia natural [10].

En las cuencas hidrográficas del mundo el diseño de control de erosión se encarga de identificar, predecir las zonas donde produce sedimentos, generalmente dicha variable se trata de la escorrentía quien es un vehículo de transporte que está estrechamente correlacionada con cualquier otra variable [11].

En los últimos 10 años la erosión es un impacto que ocurre debido al aumento a la tierra que se mueven de un sitio a otro ya sea por el viento o el agua de lluvia. Por ejemplo, en la subcuenca de Samin son propensas a deslizamientos de tierra ya que erosionan fácilmente por su condición y además por el uso inadecuado de la tierra que esto causa la sedimentación [12].

En la cordillera Himalaya el modelado hidrológico de las cuencas hidrográficas, el clima global está jugando un papel importante en los cambios abruptos de la orografía, la dirección socioeconómica, viene determinada a partir de un modelo hidrológico de las regiones circundantes como puente de vital importancia en el área agrícola y geográfico [13].

Los estudios hidrológicos y geológicos son necesarios puesto que la gran mayoría de la población trabaja en el sector de ganadería, agricultura y silvicultura, estos parámetros ayudaran a identificar en la cuenca el volumen de sedimentos, producto de procesos erosivos como la pérdida de tierra cultivable, los cuales repercuten directamente en el almacenamiento de la cuenca [14].

El 35% de generación para el servicio de electricidad, se llevan a cabo en las cuencas de Junin, por medio del escurrimiento del río Mantaro, además de ser aprovechado para suministros alimenticios en Lima y para fines agrícolas, mineros e industriales, bajo este contexto son de suma importancia saber sostener la regulación hídrica, conservación del agua y suelo de los ecosistemas alto andinos [15].

En la vertiente del Pacífico se encuentran los ríos más caudalosos del Perú, como la cuenca del río Santa que genera electricidad en la Central Hidroeléctrica Cañón, además de abastecer a proyectos de irrigación, entre ellos Chavimochic; sin embargo, la amenaza medioambiental del cambio climático puede verse afectada en el desarrollo sostenible en los próximos treinta años [16].

Los autores [17] en su investigación titulada: "Modelling water flow in a complex watershed in humid a tropical area using SWAT a case study of Taabo watershed in Ivory

Coast. Management”, tuvieron como objetivo implementar un modelo SWAT de índole agro-hidrológico de los lagos de Costa de Marfil, la metodología empleada fue calibrar dicho modelo en un análisis preliminar de sensibilidad e incertidumbre SUFI-2 de 19 parámetros hidrogeológicos, en sus resultados lograron el rendimiento de alrededor de 0,6 y 0,7 para periodos de calibración y validación; concluyeron que las medidas estadísticas para determinar la calibración y validación, el mejor rendimiento entre ambos se obtuvo con el periodo de validación.

Los autores [18] en su investigación titulada: “Modeling pesticide and sediment transport in the Malewa River Basin (Kenya) using SWAT” tuvo como objetivo utilizar el modelo de evaluación de suelo y agua SWAT en la simulación de descarga de sedimentos y plaguicidas en la cuenca del río Malewa, la metodología se llevó a cabo con la utilización del algoritmo de ajuste SUFI-2 de la herramienta SWAT-CUP, además se utilizaron el sensor de turbidez digital DTS-12, en cuanto a la medición de los plaguicidas el Upper y Down Malewa con la técnica de muestreo pasivo, los resultados mostraron que el análisis de sensibilidad del número de curva (CN2) y el factor de la ecuación de pérdida de suelo (USLE-K) forman parámetros más sensibles para las simulaciones, concluyeron que a pesar de que se sobreestime los resultados de simulación en el modelo, la calibración para periodo mensual podría considerarse aceptable.

Los autores [19] en su investigación titulada: “Modelling sediment fluxes in the Danube River Basin with SWAT” tuvo como objetivo evaluar la corriente del periodo 1995-2009 de sedimentos de la cuenca del Danubio e identificar las lagunas de conocimiento sobre el presupuesto, en la metodología se calibraron ampliamente utilizando datos auxiliares de 269 estaciones de medición con una data de 2968 de concentraciones medias anuales, donde los resultados en general del desempeño del modelo resulto satisfactorio; por lo cual se llegó a saber que la mayoría de los sedimentos fueron generados por la erosión de laderas, concluyeron con la mejora de la geometría hidráulica de las principales corrientes se podría optimizar la simulación del modelo dinámico de la deposición en la llanura.

Los autores [20] en su investigación titulada: "Adapting SWAT hillslope erosion model to predict sediment concentrations and yields in large Basins" tuvo como objetivo adaptar el modelo de sedimentos SWAT con la ecuación universal de pérdida de suelo MUSLE en una cuenca de gran extensión Alto Danubio, en la metodología se calibraron y validaron de 55 estaciones de 622 años-estación, tuvieron como resultados que la mejor combinación se logró con el MUSLE de un umbral de área de 0,01 km² y el sesgo porcentual medio para 1995-2009 fue del 24%; concluyeron que el MUSLE puede explicar en parte el aumento de sedimento pero no puede considerar la disminución.

Los autores [21] en su investigación titulada: "Evaluation of Sediment Deposition in a Mediterranean Reservoir Comparison of Long Term Bathymetric Measurements and SWAT Estimations." tuvo como objetivo demostrar que el modelo SWAT es capaz de predecir valores de descarga y rendimiento de sedimentos en el embalse de Sicilia, teniendo como metodología comparar resultados de simulación con flujos de agua y volúmenes de deposición (47 años); el resultados mostró que en el periodo 1963-2009 obtuvo una sedimentación de 51.000 m³/año, con un coeficiente de escorrentía mensual de 0,17, concluyendo que el volumen medio de sedimento simulado durante el total del periodo fue 8.1% menor que de las mediciones batimétricas.

Los autores [22] en su investigación titulada: "Using SWAT to enhance watershed-based plans to meet numeric water quality standards" tuvo como objetivo identificar varias combinaciones de gestión para cumplir estándares de calidad del agua con la herramienta SWAT en el reservorio de Oklahoma, siguiendo una metodología que determina la excedencia de los estándares numéricos después de la escorrentía y calibración; así los resultados mostraron un 0,037 mg L P_{total} (carga total) en tres ríos escénicos, concluyendo que el modelo utilizado demostró ser capaz de evaluar las prácticas de conservación y cumplir con los estándares numéricos de calidad de agua.

Los autores [23] En su investigación titulada: "Estimation of Water Yield under Baseline and Future Climate Change Scenarios in Genale Watershed, Genale Dawa River

Basin, Ethiopia, Using SWAT Model”, tuvieron como objetivo analizar el estado de los recursos hídricos utilizando la evaluación del modelo del suelo (SWAT), con el fin de ayudar a potenciar las estrategias de gestión sostenible; siguiendo una metodología que evalúa a partir de 25 subcuencas y 464 HRU (unidades de respuesta hidrológica) de la cuenca del río Genale, donde los resultados mostraron un alto valor de rendimiento de agua en la subcuenca 8 y 12, concluyendo que también existe la necesidad de aumentar el almacenamiento / rendimiento mediante prácticas de gestión ecológica.

Los autores [24] en su investigación titulada: “Application of the SWAT Model for Evaluating Discharge and Sediment Yield in the Huay Luang Catchment, Northeast of Thailand”, cuyo objetivo fue estimar la descarga y rendimiento de los sedimentos en la cuenca Huay Luang en Tailandia, siguiendo una metodología a través de una comparación con los datos de la estación Kh103 (2008-2016) por medio del SWAT-CUP, donde los resultados a un 50% del análisis cuantitativo de 22 subcuencas tuvieron de descarga 9 a 20 metros cúbicos por segundo y de 1000 a 5000 toneladas de sedimento; para temporada de lluvias, concluyendo que la evaluación de la descarga y sedimentos contribuye en gran medida en la elaboración del plan de manejo de recursos hídricos tanto cualitativos como cuantitativos.

Los autores [25] en su investigación titulada: “Construction of a high-resolution gridded rainfall dataset for Peru from 1981 to the present day”, tiene como objetivo desarrollar una cuadrícula o grillado de datos climáticos denominado PISCO, siguiendo una metodología a través de métodos de interpolación geoestadística y determinista, que incluyen tres fuentes de lluvia: datos pluviométricos, climatología y precipitación infrarroja los resultados dan sugerencia que las estimaciones obtenidas son aceptables y muestran alto desempeño sobre todo en la Costa del Pacífico, concluyendo que PISCOp V2.1 es el producto más adecuado en la evaluación independiente del balance hídrico; excepto en las tierras bajas del Amazonas.

El autor [14] en su investigación titulada: “Estimación De La Carga De Sedimentos en La Cuenca Del Río Pitumarca Mediante el uso Del Modelo SWAT”, tiene como objetivo la

estimación de sedimento a través del modelo hidrológico SWAT en la cuenca del río Pitumarca, la metodología utilizada partió en introducir los DEM, usar base de datos del producto PISCO, delimitar la cuenca y generar los HRUs para ser introducidos a la interfaz del SWAT, donde los resultados de mapas dan a conocer que la más elevada sedimentación está en la zona media y por ende se proponen medidas como reforestación, espigones y gaviones, concluyendo que la generación sedimentológica de la cuenca es elevada sobre todo en sectores con altas pendientes, precipitaciones severas y sin cobertura vegetal.

El autor [15] en su investigación titulada: “Modelamiento de Procesos Hidrológicos en Cuencas de la Sierra Central Del Perú”, tiene como objetivo la modelación de las cuencas de Anya y Mchique del río Mantaro en Junín, teniendo como metodología usar dos modelos hidrológicos; el empírico Lutz Scholtz y el semidistribuido SWAT en base a la ecuación del balance hídrico y el uso del producto grillado PISCO y el proyecto VLIR, los resultados demuestran que el modelo Lutz Scholtz reproduce de manera adecuada el escurrimiento del río Anya, sin embargo no se logró para los caudales del río Mchique; en cuanto al modelo SWAT no hubo inconvenientes y obtuvo buenos ajustes estadísticos de bondad, concluyendo que aumentarían dos escenarios de caudales en Anya (29.4% y 34.1%) y Mchique (5.4% y 10.8%).

En la presente investigación se ha tomado mayor énfasis de estudio en la cuenca Chancay-Lambayeque, subcuenca Racarrumi, debido a que en la actualidad se registra un descenso de capacidad de almacenamiento y funcionabilidad del sistema de infraestructura hidráulica de Tinajones, como consecuencia de la sedimentación, teniendo como fin evaluar el estado cronológico de sedimentación de la subcuenca. Poder controlar la sedimentación en una porción de cuenca, siempre ha representado una fuerte inversión económica, con la implementación de mecanismos de control de las obras hidráulicas, pero todo tipo de evaluación lleva a un cierto grado de incertidumbre; en muchas ocasiones no suelen ser las más precisas predicciones, sin embargo el uso de modelo SWAT ha sido ampliamente usado por investigadores y ha tenido buenos resultados, por supuesto favoreciendo a las actividades

económicas del sector en análisis, pero principalmente a las de las autoridades de gestión de cuencas. De la misma manera se pretende llegar con esta investigación, la aplicación del modelo hidrológico del SWAT en la pequeña porción de cuenca, resulta económicamente factible en el planteamiento de estrategias efectivas. El modelo SWAT ha sido aceptado en muchos países del mundo, gracias a la eficiente evaluación y simulación de las variaciones espacio-temporales en los procesos hidrológicos como erosión a escala de cuenca, las herramientas que forman parte para su aplicación son fuentes confiables y arrojan resultados aceptables con alto grado de precisión. La investigación tiene como principal promotor de evaluación sedimentológica al modelo SWAT, quien pretende obtener información potencialmente precisa y buenas prácticas de gestión en la conservación del agua y suelo.

1.2. Formulación del Problema

¿Cuáles son las tasas de deposición sedimentológica de la subcuenca Racarrumi – Chancay – Lambayeque utilizando el modelo SWAT?

1.3. Hipótesis

El modelo SWAT podrá representar las tasas de deposición sedimentológica de la subcuenca Racarrumi – Chancay – Lambayeque.

1.4. Objetivos

Objetivo general

Evaluar la deposición de sedimentos en la subcuenca Racarrumi-Chancay Lambayeque mediante el modelo Soil and Water Assessment Tool (SWAT)

Objetivos específicos

- Analizar los factores climáticos de: Radiación solar, velocidad de viento, humedad relativa, precipitación y temperatura, que van a contribuir a la creación del modelo SWAT.

- Obtener mapas topográficos, de cobertura vegetal y tipo de suelo por medio de las herramientas del SIG
- Realizar la creación, calibración y validación del modelo SWAT
- Analizar la sedimentación que se genera por cada microcuenca.

1.5. Teorías relacionadas

Fundamentos Básicos

Ciclo hidrológico

La secuencia hídrica determinada mediante ciclos que ocurren al pasar de una fase a otra se conoce como ciclo hidrológico; donde el agua quien transcurre de la superficie terrestre; siendo aún vapor, pasa a la atmósfera para nuevamente regresar a su etapa líquida y sólida. En la Fig. 1 se detalla este proceso, de manera que existe relación entre los factores hidrológicos; la precipitación llega a la Tierra por efectos de sublimación; se infiltra y sigue corrientes subterráneas para formar las lagunas o también se escurre en el exterior para la formación de cursos de agua o ríos, así también la evapotranspiración que es realizada por la interacción de animales y plantas; luego de condensarse en la atmosfera forma niebla y nubes para finalmente regresar a su estado inicial [26].

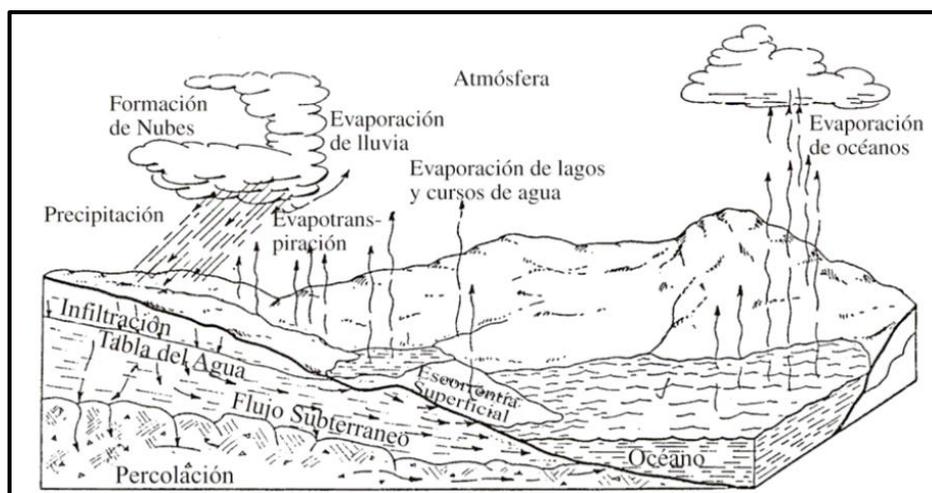


Fig. 1. Representación del ciclo del agua en la hidrología. [26]

Parámetros hidrológicos

○ Balance hidrológico

El procedimiento de cuantificación a partir de la distribución y transporte del agua, da como resultado el balance hidrológico, tomado desde un punto de entrada y salida de las diferentes líneas donde podría concentrarse el agua, la formula general utilizada es [27]:

$$I - Q = \frac{dS}{dt} \dots\dots\dots (\text{Ec.01})$$

Donde:

I = Variable afluente de entrada

Q = Variable efluente de salida

$\frac{dS}{dt}$ = Tasa de variación del almacenamiento por und. de tiempo

En resumen el factor precipitación total (P), flujo de escorrentía superficial (R), flujo subterráneo o de infiltración (G), evapotranspiración (ET) y almacenaje (S).

$$P - R - G - ET = \Delta S \dots\dots\dots (\text{Ec.02})$$

A. Precipitación

Cuando se pierde la resistencia ejercida por las nubes, el agua contenida cae sobre la superficie ya sea durante su estado líquido, o sólido se le conoce como efecto de precipitación [28].

B. Escorrentía

Se da la escorrentía como consecuencia de la precipitación, sin embargo, para el cálculo solo se consideran el escurrimiento superficial que da lugar a las corrientes de ríos o quebradas, además de considerar la temperatura, nivel de la capa freática, morfología, precipitación y permeabilidad geológico, siendo esta última de suma importancia puesto que es un factor que depende de la cobertura vegetal, tipo de suelo y actividades antrópicas [14].

C. Infiltración

La tasa de infiltración se define como la cuantificación de agua que traspasa de la superficie al subsuelo después de haberse escurrido, medido con la unidad de tiempo y si bien atraviesa una mayor profundidad ocurre el efecto de percolación. El desplazamiento lateral del agua infiltrada dispuesto debajo de la superficie se denominará flujo subsuperficial [29].

D. Evapotranspiración

Este concepto se refiere a la directa evaporación del suelo sumado la transpiración de las plantas, así también cobra mayor importancia para el sector agrícola y en especial cuando se trata del diseño hidrológico, mediante modelación continua ya que la evapotranspiración constituye el proceso de extracción de agua durante periodos secos, siendo así uno de los principales errores de análisis hidrológicos [26].

Factores del Clima

Los factores climáticos forman parte de la determinación característica de la cuenca, a partir del factor precipitación, temperatura, radiación del sol, viento y humedad como los principales mayormente determinados [28]:

A. Temperatura

La temperatura está estrechamente relacionada con el tiempo; por ejemplo, para determinar las máximas temperaturas por medio de un termómetro de máximas, la lectura diaria sería a las 17:00 hrs. es decir, cuando la temperatura aumenta el mercurio pasa el nivel del bulbo al tubo capilar, a través de la estrecha transición en gotas muy pequeñas, así mismo cuando descende; el mercurio no puede dar pase por la estrecha transición, quedando así la temperatura marcada. De igual manera también ocurre con los termómetros de mínimas, pero en este caso el líquido sensible es el alcohol y el tiempo de tomas es a las 7:00 hrs. [27].

Este factor es de fácil evaluación e importante, dependiendo a la variación de las horas las cuales son medidas y la estación en la que se encuentren. Sucede un conflicto térmico cuando existen diferencias de temperaturas con respecto a la superficie de la Tierra y las capas superiores, a esto se le denomina inversión térmica o comúnmente conocida como “heladas” que dan lugar constantemente en la sierra peruana, durante las etapas de estiaje [14].

B. Radiación solar

El sol es la principal fuente de energía que mantiene cálido a la Superficie terrestre y en los procesos hidrológicos son primordiales para el proceso de evaporación y evapotranspiración. La radiación del sol es el medio más importante para que se produzca el cambio del estado molecular del agua, es decir del líquido al gaseoso, o del sólido al líquido, tanto es el impacto que, si en caso se tuviera el contacto directo o perpendicular con una superficie horizontal y sin la existencia de una atmósfera, estaría expuesta a un 2.00cal/cm²/min [26].

C. Humedad relativa

La humedad relativa es la cantidad de humedad que ocupa la atmosfera obtenida a través de la relación densidad de vapor por volumen de aire y la densidad de vapor en condiciones de saturación. Los valores máximos de humedad se encuentran cercanos al 100% y al igual que la temperatura, varia conforme al tiempo [29].

$$H_r = \frac{p_a}{p_s} X 100\% \dots \dots \dots \text{(Ec.03)}$$

Donde:

H_r : Humedad atmosférica, relativa

p_a : densidad de vapor de agua

p_s : densidad de vapor en condiciones de saturación.

D. Viento

La dirección normal del viento se da en sentido horizontal, mientras que en el sentido vertical se conoce como corriente aérea. La medición del viento se da mediante la determinación de la intensidad vectorial o velocidad por medio del anemógrafo, constituido tanto por anemómetro de cazoleta y veleta, estos registran la velocidad y dirección del viento y tienen que estar instalados en un terreno libre de obstáculos y a 10 metros de la superficie del suelo [27].

Por otro lado, el viento es el principal mecanismo de transporte para las nubes y humedad, el grado de susceptibilidad se da por la geografía del lugar; por ejemplo, en Perú, la mayor intensidad del viento sucede en el litoral norte como Chiclayo y Piura, puesto que se ubica en una saliente y para el sur, alrededor de Puno y Cuzco, en una magnitud cercana a los 13° [14].

Proceso de Sedimentación

○ Erosión

El efecto erosivo sucede por el desprendimiento y desgaste de una porción de la superficie terrestre o material rocoso, es decir este proceso de eliminación o reubicación de material erosionado puede ser a causa de los parámetros hidrológicos, como lluvias, escorrentías o simplemente por acción de la gravedad [16].

La erosión, además es considerado como uno de los principales factores que amenazan gravemente los recursos ambientales de las cuencas y degradan los ecosistemas [30].

○ Sedimentación

Como producto del efecto erosivo se da la sedimentación, es decir una porción de suelo se desprende gracias a la fricción por escurrimiento y el golpe directo de la precipitación, este flujo de sedimento se transporta por los canales de drenaje así también dependerá de

factores como uso de suelo, cobertura vegetal, topografía, etc., y bien puede ser sacado por agentes externos de limpieza o crear mayor acumulación en tramos donde la velocidad de corriente es menor o depósitos de reserva [28].

En el Diagrama de Hjulstrom se puede visualizar como el factor velocidad influye en la deposición por diámetro de sedimento, la mínima velocidad que puede ser más susceptible son las arenas con diámetros entre 0.1 y 1 mm, en cuanto a los limos presentan mayor tendencia a partir de 0.035 mm. Para diámetros menores a los que muestra el diagrama se entiende que se encuentran suspendidos hasta que el material grueso haya sedimentado y una vez que la velocidad haya disminuido sustancialmente los sólidos se asientan en el fondo y así también los finos por encima [31].

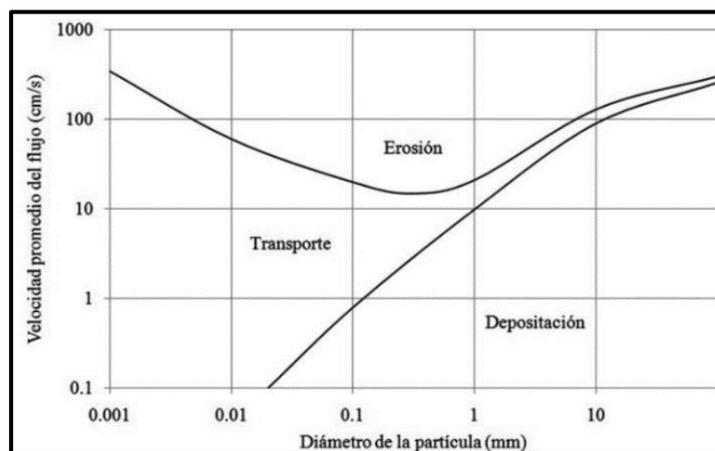


Fig. 2. Modelo del D. de Hjulstrom. [31]

- **Transporte de sedimentos**

Los sedimentos pueden transportarse por medio de las corrientes ejercidas en los ríos producto de la gravedad y pendientes, la misma puede suceder por tres formas; el primero se da por sedimentación con partículas suspendidas, debido a la alta velocidad de flujo del río y porque son muy pequeñas, la segunda es la sedimentación por transporte del lecho móvil, esta se da en partículas más grandes pero aun así son desplazados por las corrientes

y la última presenta características intermedias de ambas, en este caso la sedimentación se da por saltos que son casi imperceptibles con el movimiento del agua [14].

Existen nuevas tecnologías que investigan a mayor detalle tanto la erosión y sedimentación, como:

A. Métodos Radioisotópicos

Los métodos más conocidos de esta tipología son: Pb-210 y Cs-137, los cuales identifican puntos de mayor erosión asociado a las inundaciones a lo largo de un río, determinan la tasa de sedimentación, así como la variabilidad de partículas tomando una porción de núcleos de sedimento ; el primero es una técnica moderna para obtener el orden geocronológico por tasa de sedimentos por medio de isótopo natural, con el segundo se puede obtener la edad cronológica del sedimento en los últimos cuarenta años [32].

B. Método por Teledetección

Es uno de los métodos más recientes, donde la aplicación por teledetección se fusiona al campo de la edafología para dar seguimiento a los problemas que amenazan los recursos naturales como la degradación del suelo, estas se componen por información otorgada de satélites espaciales que presentan sistemas de alta resolución espectral como los de: Ikonos, ERS, Quick Bird, Terra, entre otros, que son utilizados en proyectos de gran escala a nivel regional o local, la adquisición de las imágenes satelitales son de alto costo [33].

Modelos Hidrológicos

En términos simples, un modelo representa una fracción simplificada de la realidad, si un modelo es capaz de dar resultados muy cercanos a lo real por medio de un propio complejo de análisis y además de mínimos parámetros de entrada, entonces se puede decir que ese modelo es el más exacto. La hidrología se apoya de estos modelos para predecir y comprender ciertos acontecimientos, producto de los procesos hidrológicos, pero para ello necesita de características físicas o parámetros locales de la cuenca [34].

Por ejemplo, durante el proceso de escorrentía se puede generar un modelo con múltiples ecuaciones, donde los datos de entrada de mayor importancia serían de precipitación, área de drenaje, características de vertiente; como propiedades del suelo, cobertura vegetal, topografía, contenido de humedad de suelo, además de las características físicas de infiltración en acuíferos subterráneos [14].

Tipos de Modelos Hidrológicos

Se puede decir que existen tres de las formas útiles para realizar la modelización hidrológica de las cuencas [35]:

- Por conceptualización: de acuerdo a los procesos básicos encontramos; empíricos y conceptuales.
- Por su naturaleza: de acuerdo a algoritmos básicos encontramos; deterministas o estocásticos
- Por su representación espacial: se encuentran los agrupados y distribuidos

A. Modelos hidrológicos empírico-métrico

También denominados “de caja negra” o de regresión, estos modelos se basan en la observación y datos existentes o relaciones de entrada-salida, pero sin tomar en consideración el comportamiento de los procesos hidrológicos. Involucra ecuaciones matemáticas dentro del análisis; así se tiene como ejemplo la formación del hidrograma unitario, de regresión difusa y correlación, así también red neuronal artificial; se pueden utilizar como técnicas de aprendizaje automático y que son validadas dentro de un dominio dado [34].

B. Modelos hidrológicos conceptuales-paramétricos

Denominados “de caja gris”, estos modelos explican una serie de interconexiones de reservorios en representación a los procesos hidrológicos de la cuenca, tales como la función de recarga por el factor lluvia, infiltración, percolación y se vacían al evaporarse, escurrirse o

drenar. Involucra ecuaciones semi empíricas y calibración de los parámetros del modelo, para ello es necesario de una gran cantidad de registros hidrológicos y meteorológicos, luego se procede a dar ajustes a la curva, donde la interpretación de los valores obtenidos es un tanto difícil, un ejemplo de estos modelos es el HBV [34].

C. Modelos hidrológicos de base física-mecanicista

Son denominados “de caja blanca”, se basa en un modelo complejo de distribución espacial donde las variables de los procesos físicos-hidrológicos están representadas por ecuaciones finitas, medibles y en función del tiempo y espacio, sin requerimiento de gran cantidad de datos meteorológicos e hidrológicos para la posterior calibración, sin embargo, el uso de parámetros físicos de cuenca es esencial. El modelo mecanicista es capaz de superar defectos de los demás modelos, puesto que la información que proporcionan abarca mayor área de estudio y es aplicable para múltiples situaciones entre las cuales encontramos el modelo SHE o MIKESHE y el modelo SWAT [34].

Modelo SWAT (Soil and Water Assessment Tool)

Es un modelo hidrológico que sirve como herramienta para simular y evaluar el escurrimiento y sedimentación de las cuencas hidrográficas, está basado en procesos, semidistribuido, de tiempo continuo y de paso diario [7]. El desarrollo del modelo SWAT ha tomado cerca de treinta años para su aprobación internacional, llevándose a cabo en el Servicio de Investigación Agrícola del Departamento Agrícola de los Estados Unidos en conjunto con la Universidad de Texas [36] por el Dr. Jeff Arnold y es de obtención gratuita para Windows y GNU/Linux (<http://swat.tamu.edu/software/swat-executables/>), por lo cual el modelo puede definirse con ocho componentes como hidrología, clima, sedimentación, crecimiento de plantas, manejo de suelo, nutrientes y pesticidas [15].

Dado que el SWAT trabaja como un software puede trabajarse en versiones para ArcGIS Y QGIS. Esta herramienta es necesaria porque no solamente encuentra el problema si no que, además, es posible a través del análisis dar solución y realizar una planificación

vinculada a favor del uso del suelo, como la reforestación, obras hidráulicas necesarias; captación, canales, espigones entre otros [14].

Principios que rigen la modelación

El modelo está basado en el proceso del balance hídrico es decir en el cómputo de entradas y salidas de agua en la cuenca, el mismo que se puede calcular para un perfil de suelo, parcela o cuenca en general [15].

$$B_{SWtf} = B_{SWti} + \sum_{i=1}^t (P_i - E_i - ET_i - I_i - ER_i) \dots \dots \dots (Ec.03)$$

Donde

B_{SWtf} : contenido final de agua en el suelo (mm)

B_{SWti} : contenido inicial de agua en el suelo (mm)

t: tiempo expresado en días

P_i : cantidad de precipitación (mm)

E_i : cantidad de escorrentía (mm)

ET_i : cantidad de evapotranspiración (mm)

I_i : cantidad de infiltración o percolación (mm)

ER_i : cantidad de escorrentía de retorno (mm)

El SWAT puede utilizar tres métodos para el cálculo de la evapotranspiración como; Hargreaves, Penman –Monteith y Priestley – Taylor, mientras que para el cálculo de pérdida de suelo la ecuación MUSLE modificada. En principio el Departamento de Agricultura de los Estados Unidos (USDA) desarrollo la ecuación USLE que expresa la pérdida de suelo por unidad de área pero excluye la erosión eólica y estimaciones directas de sedimentación, por ello se proporcionó una tecnología mejorada denominada RUSLE; el cual brinda un modelo de sedimentación que predice la cantidad anual de pérdidas debido al transporte por escorrentía en campos y laderas en específico; finalmente se crea el MUSLE que a diferencia de la ecuaciones anteriores se toma en cuenta la escorrentía media y máxima como factores

independientes por lo cual lo hace potencialmente precisa con respecto a la versión original y revisada USLE y RUSLE respectivamente [14].

$$SW_{sed} = 11.8 \times (e_m \times E_{max} \times A_{HRU})^{0.56} \times S \times T \times CM \times SP \dots \dots \dots (Ec.04)$$

Donde:

SW_{sed} : producción de pérdida de suelo expresado en toneladas por hectárea y año

e_m : cantidad de escorrentía media

E_{max} : cantidad de escorrentía máxima

A_{HRU} : área de HRU

S : factor de erosión del suelo

T : factor topográfico

CM : factor de cobertura vegetal y manejo

SP : factor soporte práctico

En la fase preprocesamiento para realizar la modelación es necesario de modelos digital de elevación, es decir los DEM que son introducidos a la interfaz del modelo SWAT, mediante el uso del SIG (sistema de información geográfica) para obtener la topografía de cuenca y delimitar los cursos de agua; posteriormente la cuenca hidrográfica es dividida por subcuencas y HRU (unidades de respuesta hidrológica); obtenidas a partir de la interposición de mapas del tipo de suelo, pendientes y coberturas, mientras sea mayor los HRUs la precisión mejorara, pero podría imposibilitarse por el tiempo de análisis, por último el modelo requerirá de una base de datos concernientes a variables meteorológicas obtenidas por la estaciones dentro y aledañas a la cuenca, como precipitación diaria, humedad relativa, temperatura y velocidad del viento [14].

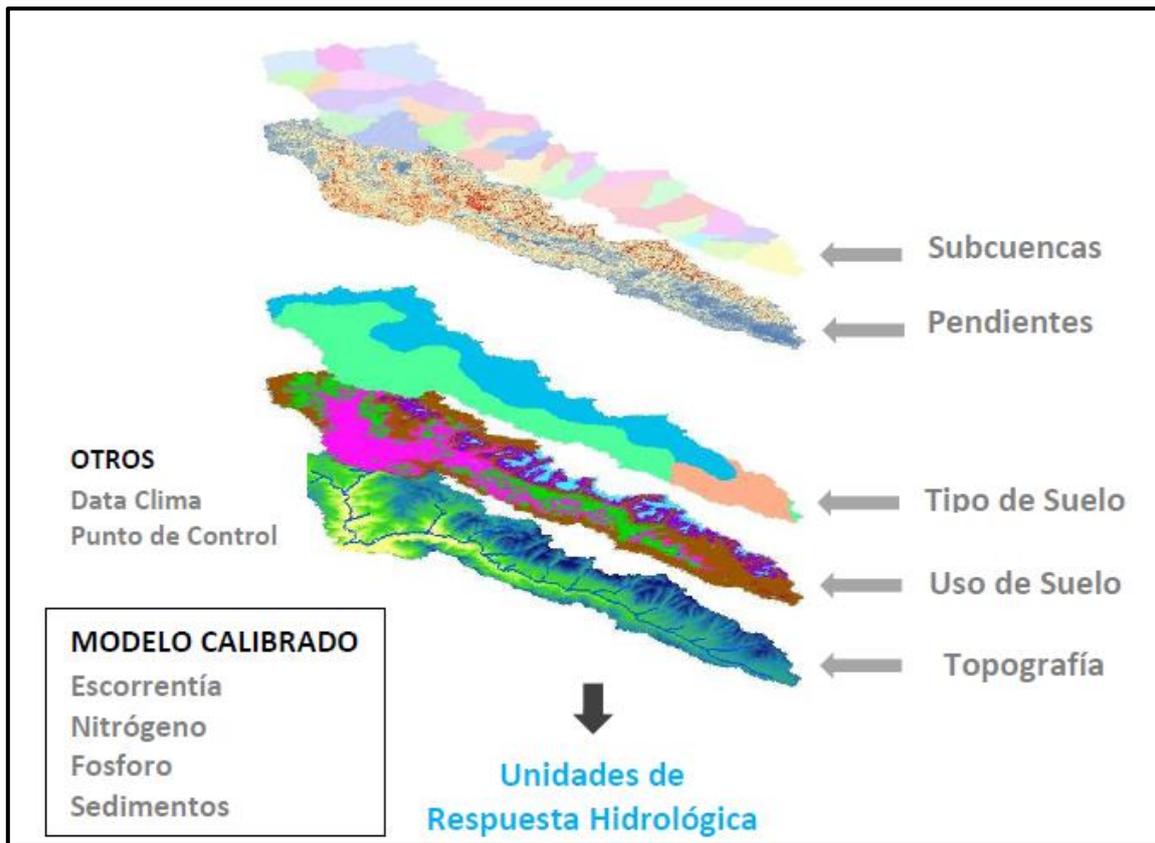


Fig. 3. Elementos para el modelado de cuencas en SWAT. [16]

II. MÉTODO

2.1. Tipo y Diseño de Investigación

Tipo de Investigación

La investigación es de carácter cuantitativa; utiliza instrumentación con respecto a la recolección de datos a través de una medición sistemática y metodología estadística para la comprobación de teorías [37].

Diseño de Investigación

La presente investigación se basa en modelos de parámetros agrupados y semi distribuidos para el cálculo de las variables; las mismas que pertenecen al objetivo del estudio se utilizaron principalmente herramientas de computador, basados en los modelos antes mencionados.

El diseño es del tipo descriptivo que cumple la siguiente condición:

$$D \leftarrow S \cdots E$$

Donde:

“D” es la muestra de estudio (Subcuenca Racarrumi-Chancay-Lambayeque)

“S” es la información a recoger

“E” es la propuesta

2.2. Variables, Operacionalización

Variable dependiente

- Aplicación del modelo SWAT.

Variable independiente

- Evaluación de la carga de sedimento de la subcuenca Racarrumi.

Operacionalización

Tabla I
Variable independiente

Variable de estudio	Dimensiones	Indicadores	Sub indicadores	ÍTEM	Técnica de recolección de datos (R.D.)	Instrumentación de R.D.	
(Independiente) Aplicación del Modelo SWAT	Obtención de datos	Datos meteorológicos	Precipitación	mm	Observación no experimental y Guías de Observación no experimental	Análisis de Documentación	
			Temperatura	°C			
			V. de viento	m/s			
			Humedad Relativa	%			
			Radiación Solar	MJ/m2/dia			
		Datos Hidrométricos	Caudales	m3/s			
		Creación de parámetros geomorfológicos	Modelo de Elevación Digital	DEM	Guías de Observación no experimental	Análisis de Documentación	
			Cobertura vegetal				
			Pendientes				
			Tipo de suelo				
		Formulación de datos al modelo SWAT	Análisis de sensibilidad	Parametrización	Guías de Observación no experimental	Análisis de Documentación	
			Calibración	Coficiente Nash-Sutcliffe (NSE):	NSE	Guías de Observación no experimental	Análisis de Documentación
				Coficiente de Correlación (R)	R		
				Estadístico PBIAS	PBIAS		
	Estadístico RSR			RSR			
	Validación	Caudales	Q	Guías de Observación no experimental	Análisis de Documentación		
		Sedimentos	Sed				

Nota: Los indicadores de la variable independiente son explicados en el apartado de Resultados

Tabla II

Variable dependiente

Variable de estudio	Dimensiones	Indicadores	Sub indicadores	Item	Técnica de recolección de datos (R.D.)	Instrumentación de R.D.
(Dependiente) Evaluación de la carga de sedimento de la subcuenca Racarrumi.	Resultados del modelo SWAT	Análisis de los puntos de mayor sedimentación	Sedimento en microcuencas	ton/ha /año	Guías de Observación no experimental	Análisis de Documentación

Nota: Los indicadores de la variable independiente son explicados en el apartado de Resultados

2.3. Población y muestra

Población

La población se encuentra dentro de la Cuenca Chancay-Lambayeque que abarca un área aproximada de 4,022 km².

Muestra

La muestra es la Subcuenca Racarrumi - Chancay-Lambayeque que abarca una extensión de 2,365 km².

2.4. Técnicas e instrumentos de recolección de datos, validez y confiabilidad

Técnicas de Recolección de Datos

- Observación no experimental:

Con la observación no experimental se obtuvieron registros diarios meteorológicos e hidrométricos de las diferentes estaciones aledañas a la subcuenca Racarrumi, y pertenecientes a la cuenca Chancay-Lambayeque, además de la data proporcionada por organismos como SENAMHI y ANA, también facilito el acceso el Proyecto Especial Olmos Tinajones (PEOT) y el Producto Grillado PISCO (Peruvian Interpolated data of the SENAMHI's Climatological and hydrological Observations).

- Guías de Observación no experimental

Se utilizaron guías para facilitar el almacenamiento de los registros obtenidos, las mismas corresponden a fichas estadísticas que son ordenadas dependiendo a la necesidad de los datos de entrada de los softwares, usando Microsoft Access y bases de datos gratuitos disponibles en la interfaz del SWAT.

Instrumentos de Recolección de Datos

Los datos meteorológicos se obtuvieron a través de la plataforma del SENAMHI y ANA, y en cuanto a los datos históricos, se utilizó una cuenta educativa para obtenerlos sin algún costo. Por otro lado, los datos hidrométricos se solicitaron por medio de un documento a la entidad encargada del mantenimiento y operación del valle perteneciente al estudio.

Los datos topográficos y de cobertura pudieron obtenerse de plataformas internacionales que presentan información satelital. en cuanto al procesamiento de la información se utilizaron distintos tipos de softwares que conciernen principalmente al sistema SIG (el mismo que incluye al SWAT) como de programación.

2.5. Procedimiento de análisis de datos

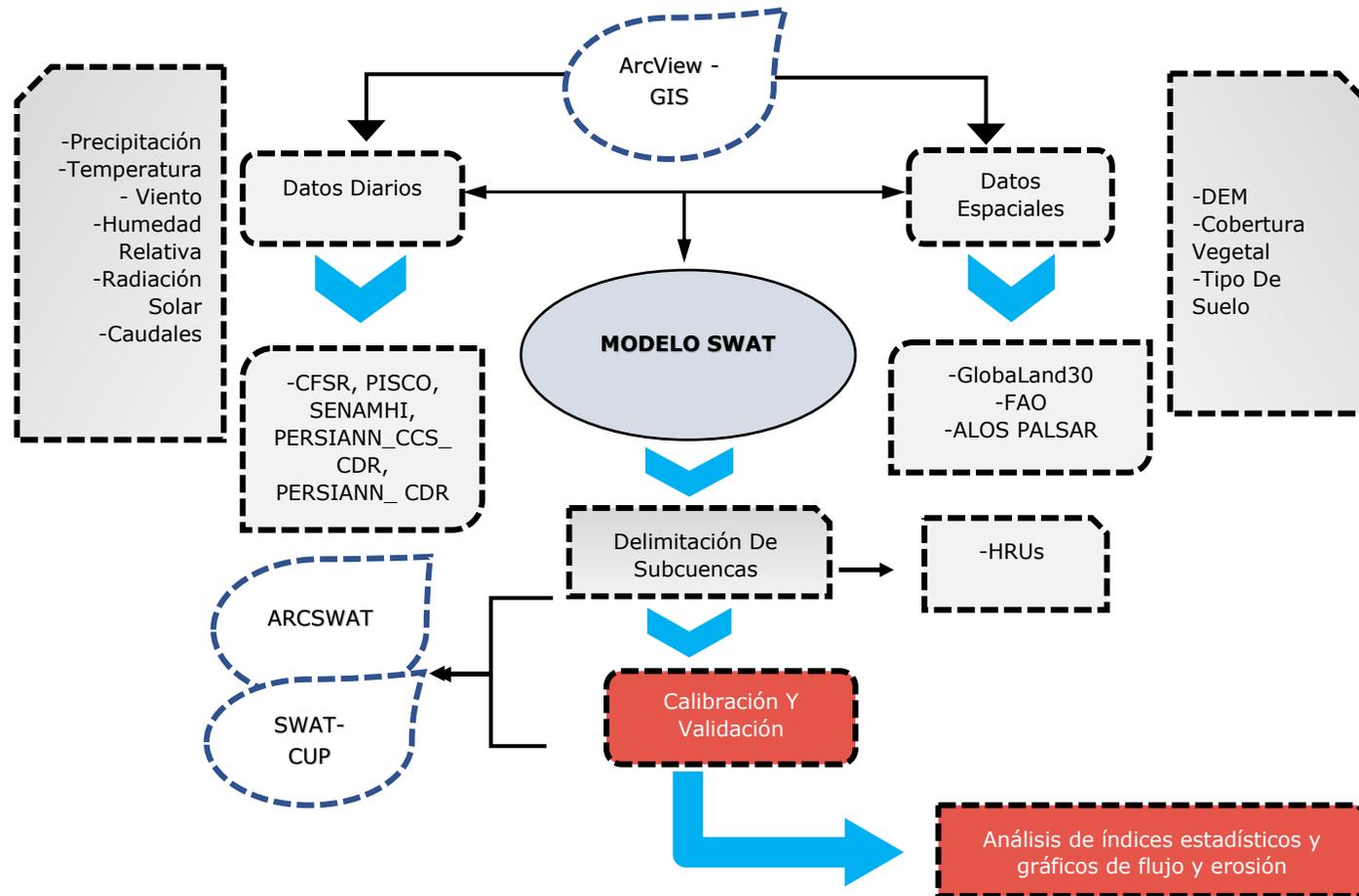


Fig. 4. Procesamiento de información para obtención de resultados

2.6. Criterios éticos

La presente investigación cuenta con la total seriedad y confiabilidad; puesto que podría ser tomado en cuenta como referencial para posteriores investigaciones; no se tomará datos falsos. Así mismo es de fe que esta investigación no recopila investigaciones sin antes ser debidamente referenciadas, por ende, se pretende contar con toda la responsabilidad del caso dando un aporte íntegro, una lucha antiplagio y teniendo en cuenta una ética profesional.

III. RESULTADOS

3.1. Resultados

Área de Estudio

La subcuenca en estudio pertenece a la cuenca hidrográfica del río Chancay ubicado en la costa norte del Perú y se considera una de las más importantes de la vertiente del Pacífico. Pertenece políticamente en un 98% al departamento de Cajamarca y lo restante al departamento de Lambayeque; provincias de Hualgayoc, San Miguel, Santa Cruz, Chota y Chiclayo. Geográficamente se ubica entre los paralelos $06^{\circ} 35' 10''$ y $06^{\circ} 91' 76''$ de latitud sur, y meridianos $79^{\circ} 32' 19''$ y $78^{\circ} 62' 71''$ de longitud oeste. A continuación, se muestra una imagen satelital (Fig. 5) de la zona de estudio.

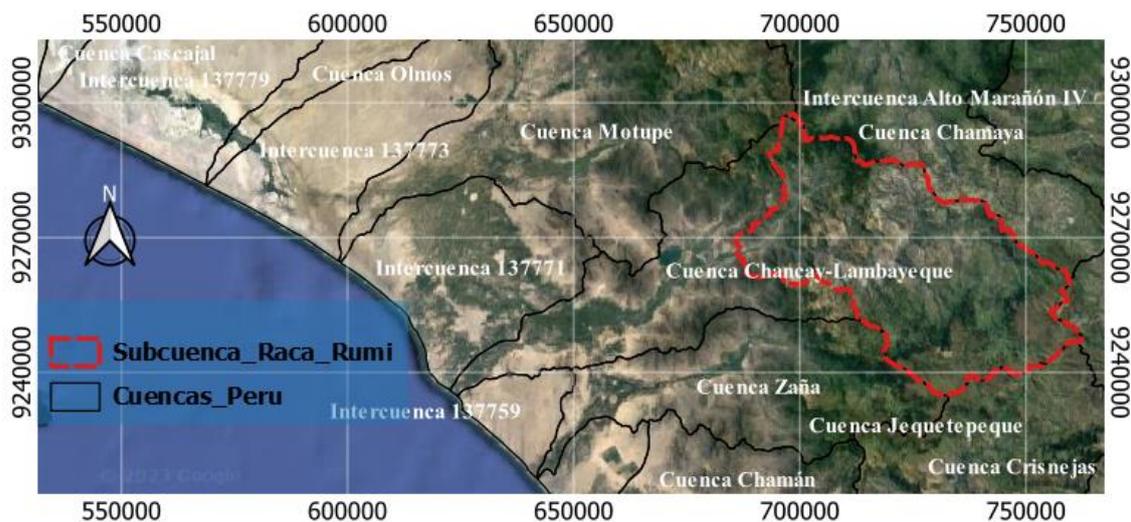


Fig. 5. Ubicación satelital de la subcuenca Racarrumi. [38]

Presenta una extensión de 2365 km², conformada por los ríos principales de: Cañad, San Lorenzo, Maichil y Chancay, pertenecientes a las subcuencas del; Alto, Medio Alto y Medio Chancay-Lambayeque (CH-L), Cañad y Maichil. Dentro de la zona de estudio se encuentra la infraestructura de riego mayor; como las obras de trasvase del túnel Chotano, captación de la bocatoma Racarrumi y represa Cirato, previo túnel y central Hidroeléctrica de Carhuaquero.

En gran porcentaje de la subcuenca (zona intermedia) se considera un clima semiseco y semicálido (31%) con precipitación abundante, como se observa en la Tabla III; y su topografía presenta elevaciones con variación desde 278 a 4127 m.s.n.m. Según reportes de la estación Llama las temperaturas oscilan entre 11° y 20° C máximas promedio y 83% de humedad relativa; además se registran valores máximos de precipitación media de 187.4 mm, siendo los meses de febrero y marzo con mayor acumulación de lluvia y periodos de estiaje entre junio y agosto con 5.9 mm. En la (Fig. 6) se muestra el mapa de climas de la zona de estudio. La cuenca periódicamente se ve afectada por peligros naturales como el denominado fenómeno “El Niño”, del cual se acarrea la generación de pérdidas económicas debido principalmente a inundaciones por el incremento exponencial de lluvias en las zonas más bajas del litoral; como Lambayeque Ferreñafe y Chiclayo.

Tabla III

Distribución de áreas climáticas en la zona de estudio

Tipo de Clima	Código	Área (Km²)	%
Semiseco Semicálido con invierno seco	C (i) B'	156.225076	6.61%
Lluvioso Semicálido con precipitación abundante	B (r) B'	167.036818	7.06%
Semiseco Semicálido con precipitación abundante	C (r) B'	722.627859	30.55%
Lluvioso Frío con invierno seco	B (r) C'	239.940174	10.15%
Lluvioso Templado con otoño seco e invierno seco	B (o, i) B	592.653069	25.06%
Muy Lluvioso Semicálido con precipitación abundante	A (r) B'	11.082683	0.47%
Muy Lluvioso Frío con precipitación abundante	A (r) C'	155.152579	6.56%
Lluvioso Templado con invierno seco	B (i) B'	9.485135	0.40%
Árido Semicálido con deficiencia de lluvias en todas las estaciones	E (d) B'	310.896921	13.15%

Nota: Se muestra las áreas climáticas de la subcuenca extraídas de [39]

En cuanto a la cobertura vegetal debido a su clima característico se compone en un 30% de bosques secos de montaña y en primer lugar se desarrolla un 32% la actividad económica agrícola costera y andina (Fig. 7). Cierta indicador resaltaría un alto grado de erosión y vulnerabilidad geomorfológica respecto de la estabilidad del suelo.

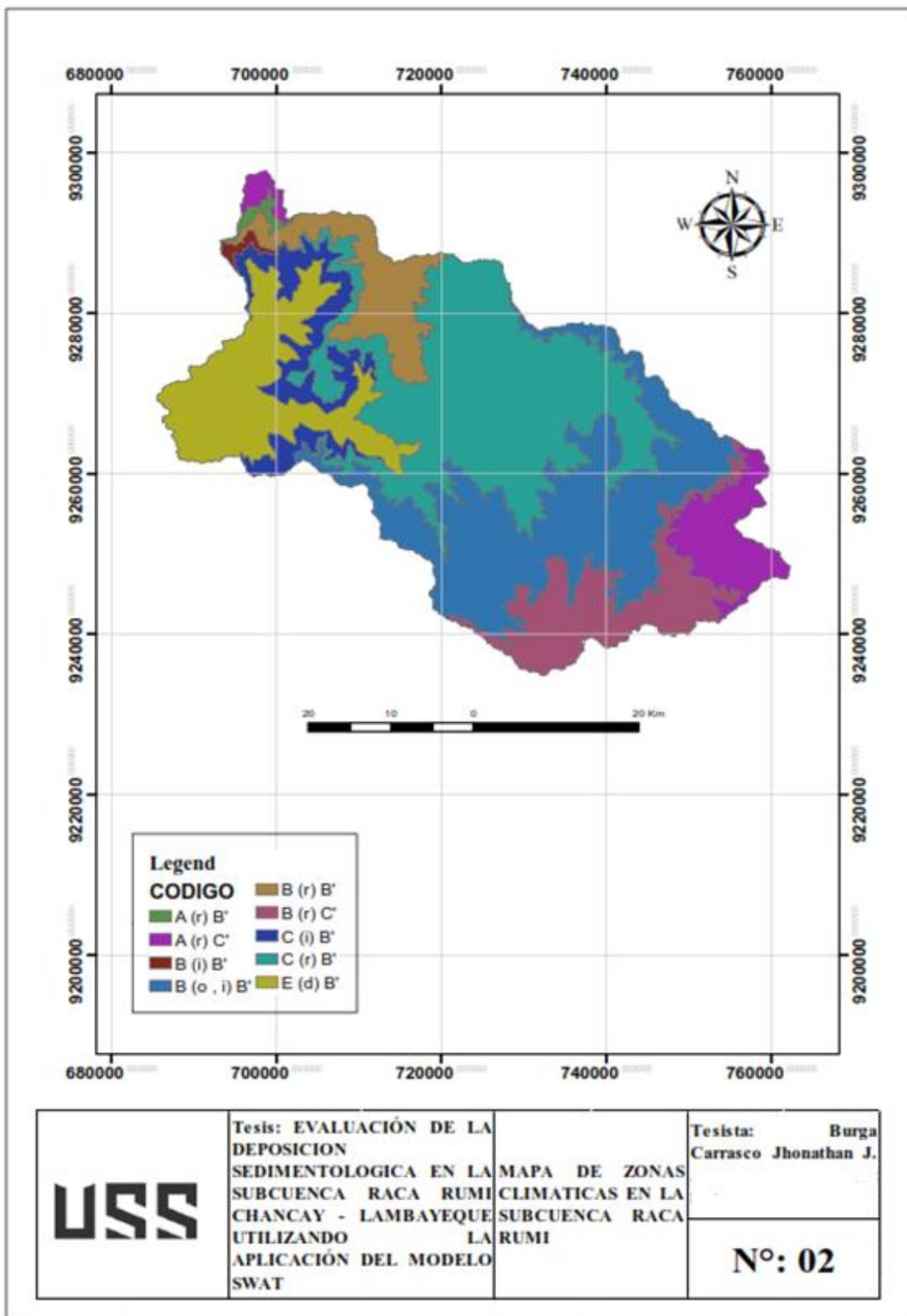


Fig. 6. Mapa de zonas climáticas en la subcuenca Racarrumi.

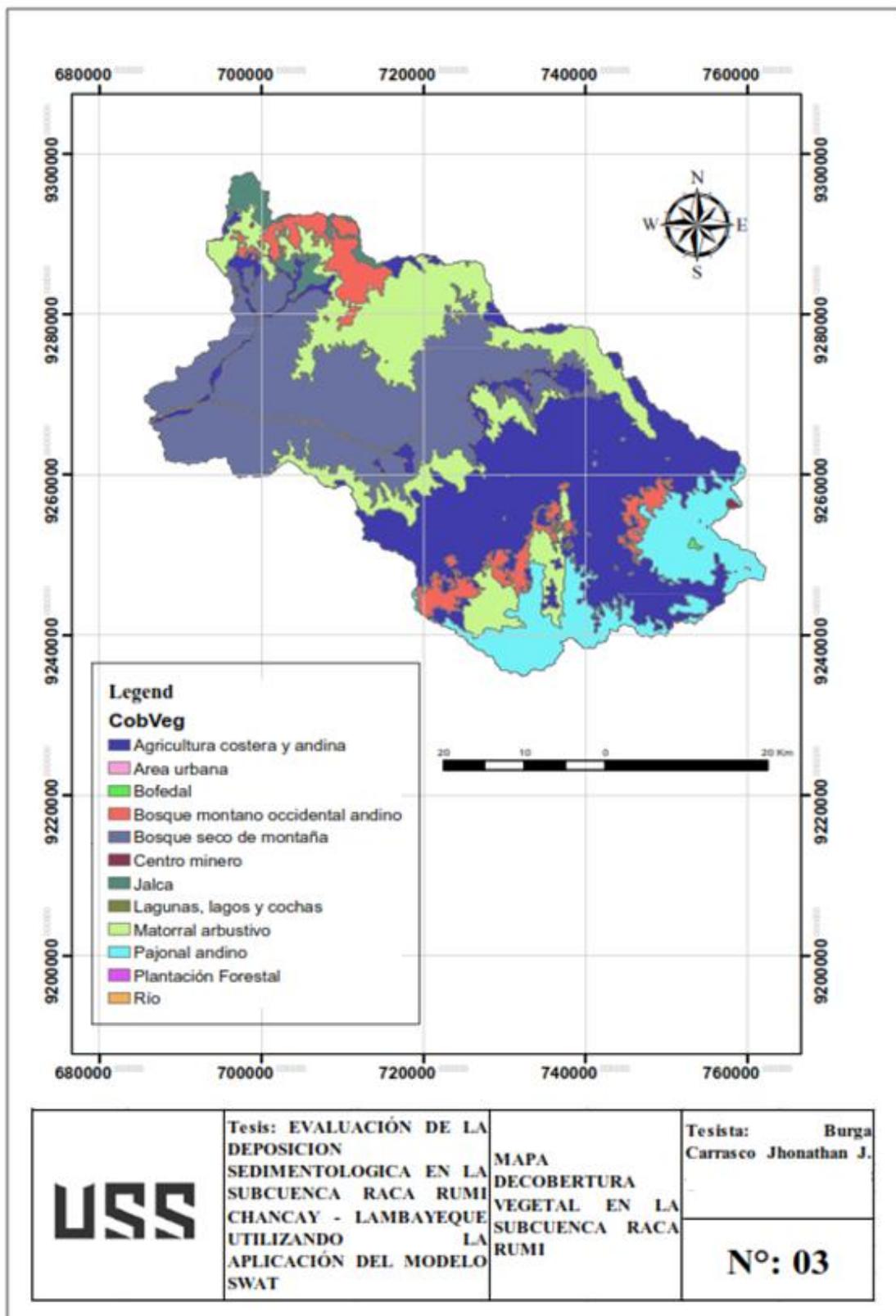


Fig. 7. Mapa de cobertura vegetal en la subcuena Racarrumi

Tabla IV

Distribución de áreas con cobertura vegetal en zona de estudio

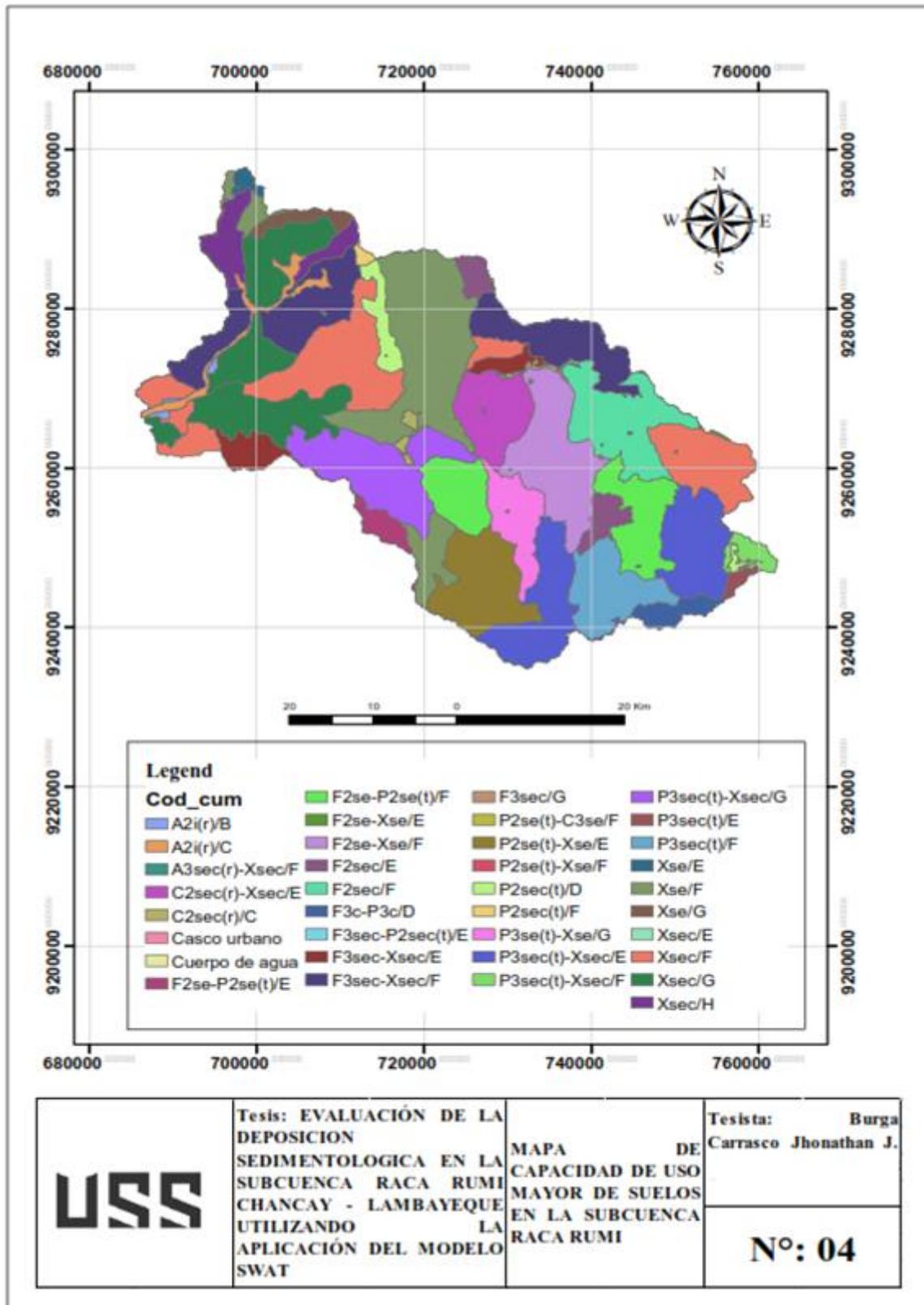
Tipo de Cobertura	Área (Km2)	%
Agricultura costera y andina	759.38	32.11
Área urbana	2.08	0.09
Bofedal	1.24	0.05
Bosque montano occidental andino	149.58	6.32
Bosque seco de montaña	689.35	29.15
Centro minero	1.51	0.06
Jalca	44.78	1.89
Lagunas, lagos y cochas	0.28	0.01
Matorral arbustivo	451.87	19.11
Pajonal andino	261.05	11.04
Plantación Forestal	0.07	0.00
Río	3.92	0.17

Nota: Se muestra las áreas de cobertura vegetal de la subcuenca extraídas de [39]

Los factores ambientales de clima y vegetación son determinantes para establecerse el nivel de exposición y severidad en una porción de suelo. La ocurrencia de climas agresivos no permite la afloración de plantas o cobertura vegetal, consecuente a ello aceleran los procesos de erosión y disminuyen el valor de producción (almacenamiento) y calidad de agua.

La geomorfología se caracteriza por presentar el 78% de una relieve montañoso o colinado en rocas volcánicas, además de abanicos aluviales o piedemonte (relieve deposicional secuencial de sedimentos) en llanuras o planicies inundables. Según la clasificación del MINAM (Ministerio del Ambiente de Perú) la capacidad de uso mayor de suelos encuentra limitaciones de suelo, erosión, clima e inundación

Para la clasificación del tipo de suelo, también se obtuvieron de la base de datos de MINAM (Fig. 8); del cual se destacaron la subclase de CUM (capacidad de uso mayor de suelos) que indica el Reglamento de clasificación de tierras.



Tesis: EVALUACIÓN DE LA DEPOSICIÓN SEDIMENTOLÓGICA EN LA SUBCUENCA RACA RUMI CHANCAY - LAMBAYEQUE UTILIZANDO LA APLICACIÓN DEL MODELO SWAT

MAPA DE CAPACIDAD DE USO MAYOR DE SUELOS EN LA SUBCUENCA RACA RUMI

Tesista: Burga Carrasco Jhonathan J.

Nº: 04

Fig. 8. Mapa de capacidad de uso mayor de suelos en la subcuenca Racarrumi.

Tabla V
Limitaciones en CUM

Símbolo	Subclase – Limitación	Área (Km2)	%
A2i(r)/B	Por inundación y requiere riego	3.91	0.17
A2i(r)/C	Por inundación y requiere riego	27.51	1.16
A3sec(r)-Xsec/F	Por suelo, erosión, clima y requiere riego-Tierras de protección con limitaciones de suelo, erosión y clima	0.75	0.03
C2sec(r)/C	Por suelo, erosión, clima y requiere riego	12.42	0.53
C2sec(r)-Xsec/E	Por suelo, erosión, clima y requiere riego-Tierras de protección con limitaciones de suelo, erosión y clima	79.89	3.38
Casco urbano		2.08	0.09
Cuerpo de agua		0.23	0.01
F2sec/E	Por suelo, erosión y clima	40.88	1.73
F2sec/F	Por suelo, erosión y clima	118.86	5.03
F2se-P2se(t)/E	Por suelo y erosión-Tierras aptas para pastos, calidad agrologica media, con limitaciones de suelo, erosión y pastoreo temporal	21.75	0.92
F2se-P2se(t)/F	Por suelo y erosión-Tierras aptas para pastos, calidad agrologica media, con limitaciones de suelo, erosión y pastoreo temporal	138.99	5.88
F2se-Xse/E	Por suelo y erosión-Tierras de protección con limitaciones de suelo y erosión	1.31	0.06
F2se-Xse/F	Por suelo y erosión-Tierras de protección con limitaciones de suelo y erosión	139.77	5.91
F3c-P3c/D	Por clima-Tierras aptas para pastos, calidad agrologica baja, con limitaciones de clima	24.70	1.04
F3sec/G	Por suelo, erosión y clima	0.01	0.00
F3sec-P2sec(t)/E	Por suelo, erosión y clima-Tierras aptas para pastos, calidad agrologica media, con limitaciones de suelo, erosión, clima y pastoreo temporal	0.25	0.01
F3sec-Xsec/E	Por suelo, erosión y clima-Tierras de protección, con limitaciones de suelo, erosión y clima	44.50	1.88
F3sec-Xsec/F	Por suelo, erosión y clima-Tierras de protección, con limitaciones de suelo, erosión y clima	208.38	8.81
P2se(t)-C3se/F	Por suelo, erosión y pastoreo temporal-Tierras aptas para cultivo permanente, calidad agrologica baja, con limitaciones de suelo y erosión	0.36	0.02
P2se(t)-Xse/E	Por suelo, erosión y pastoreo temporal-Tierras de protección con limitaciones de suelo y erosión	112.01	4.74
P2se(t)-Xse/F	Por suelo, erosión y pastoreo temporal-Tierras de protección con limitaciones de suelo y erosión	0.37	0.02
P2sec(t)/D	Por suelo, erosión, clima y pastoreo temporal	32.21	1.36
P2sec(t)/F	Por suelo, erosión, clima y pastoreo temporal	4.37	0.19
P3se(t)-Xse/G	Por suelo, erosión y pastoreo temporal-Tierras de protección con limitaciones de suelo y erosión	61.95	2.62
P3sec(t)/E	Por suelo, erosión, clima y pastoreo temporal	7.26	0.31

P3sec(t)/F	Por suelo, erosión, clima y pastoreo temporal	87.67	3.71
P3sec(t)-Xsec/E	Por suelo, erosión, clima y pastoreo temporal-Tierras de protección con limitaciones de suelo, erosión y clima	195.22	8.26
P3sec(t)-Xsec/F	Por suelo, erosión, clima y pastoreo temporal-Tierras de protección con limitaciones de suelo, erosión y clima	18.34	0.78
P3sec(t)-Xsec/G	Por suelo, erosión, clima y pastoreo temporal-Tierras de protección con limitaciones de suelo, erosión y clima	136.56	5.78
Xse/E	Por suelo y erosión	7.63	0.32
Xse/F	Por suelo y erosión	272.78	11.54
Xse/G	Por suelo y erosión	19.05	0.81
Xsec/E	Por suelo, erosión y clima	0.18	0.01
Xsec/F	Por suelo, erosión y clima	275.96	11.67
Xsec/G	Por suelo, erosión y clima	212.16	8.97
Xsec/H	Por suelo, erosión y clima	54.35	2.30

Nota: Las denominaciones fueron extraídas de [40]

Se observa que existen limitaciones principales en más del 80% con limitaciones de suelo, erosión y clima, en segundo lugar, cercano al 35% en tierras de protección. Dichas limitaciones dan lugar a la existencia de vulnerabilidad y/o conflictos socioambientales de los tipos de suelos. Por ello, se ha determinado ciertas zonas dentro de la subcuenca, el cual se clasifican en cinco tipos.

En base a las investigaciones del MINAM y SENAMHI (Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología del Perú) se ha detectado un valor de “muy alta” con 69.35% de vulnerabilidad física en la zona de estudio seguido de un 28.9% de vulnerabilidad alta. Para la obtención de dichos resultados la investigación ha considerado variables temáticas; geológicas, geoformas, pendientes, climas y vegetación. La zona con muy alta vulnerabilidad inicia desde la zona alta de la subcuenca y se dispersa hasta la zona baja donde se ubica las obras de captación y represa.

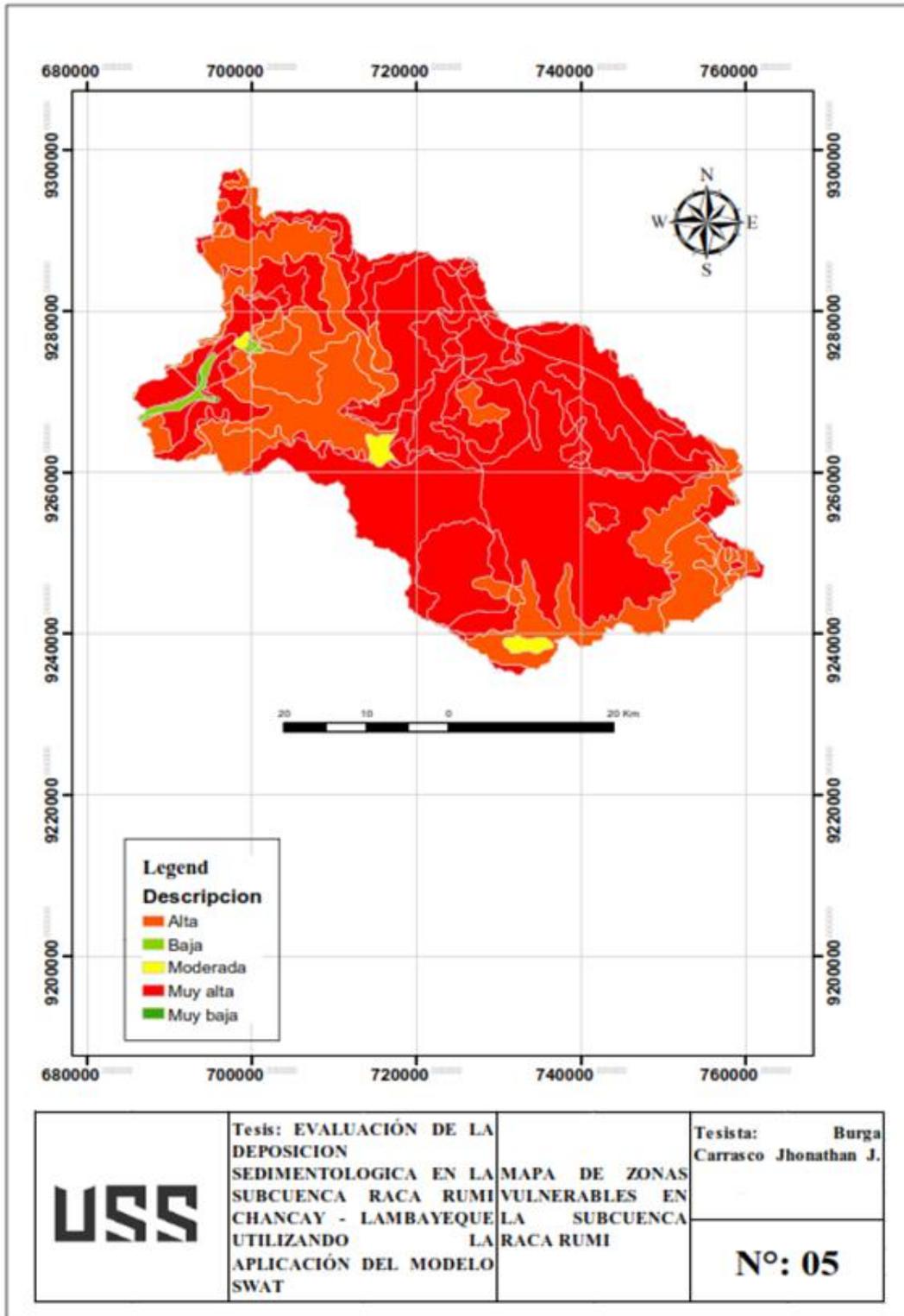


Fig. 9. Mapa de zonas vulnerables en la subcuena Racarrumi.

Cartografía y data de Entrada global en el modelo SWAT

Información SIG: DEM

El presente estudio se apoyó del Sistema de Información Geográfica (SIG), con la finalidad de recopilar información de diferentes bases de datos de instituciones y así determinar el modelo digital de elevación (DEM). A continuación, se presenta la Tabla VI con una lista de fuentes consideradas para comparación de imágenes satelitales por resolución espacial:

Tabla VI

Bases cartográficas

Base Cartográfica	Institución	Resolución (m)
SRTM V4	SRTM DATA	90
SRTM V3	USGS	30
ASTER V3	EARTHDATA	30
ALOS PALSAR	EARTHDATA (ASF)	12.5
Cartografía Nacional	Instituto Geográfico Nacional (IGN)	29.99

Nota: De la relación de bases cartográficas se consideró el que presenta mejor resolución espacial

De la lista, se descargaron las cartas pertenecientes a la zona de estudio y se eligieron las que contenían resoluciones de 12.5 y 30 m; considerados dentro de la gama media. Del satélite japonés ALOS (Satélite avanzado de observación de la Tierra) se obtuvieron cartografías pertenecientes a la zona de estudio con resolución de 12.5m. Así también del satélite TERRA se obtuvo cartografía ASTER desarrollado por la Administración Nacional de Aeronáutica y Espacio (NASA) y el Ministerio de Economía, Comercio e Industria de Japón (METI) en la versión 3 con resolución de 30m. Ambas bases de datos se descargaron en formato GeoTIF del año 2011 compatible con ArcGIS.

Satélite ALOS:

- AP_25309_FBD_F7050_RT1

- AP_25061_FBD_F7050_RT1

Sensor ASTER:

- ASTGTMV003_S07W080

De las imágenes ráster con misma con misma proyección espacial se generaron mosaicos (a partir de dos DEM) y luego se procedió a recortar con referencia a la zona de estudio.

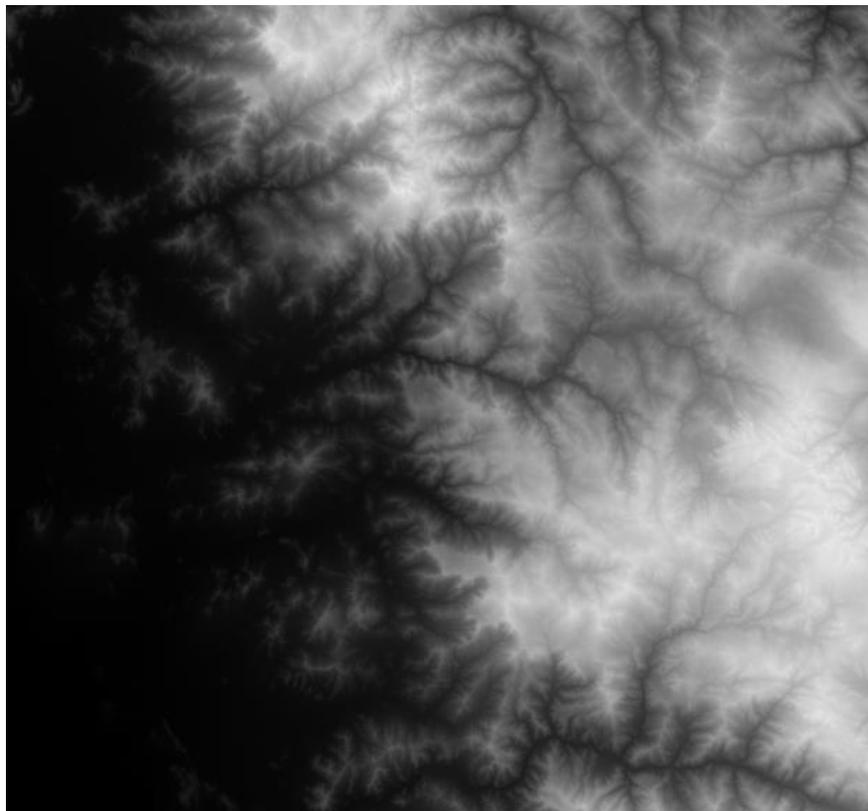


Fig. 10. Modelo de elevación digital de la subcuenca.

Uso de suelos y cobertura vegetal

Para la data correspondiente al uso de cobertura se descargaron imágenes satelitales del primer producto de datos donado a las Naciones Unidas por China; GlobalLand 30 constituida por imágenes multiespectrales de resolución de 30m. Cubre áreas entre 80° N y 80° S; además se distinguen por diez tipos o clases de uso de cobertura.

La imagen descargada pertenece al año 2020 (producto se actualiza cada 10 años) cuyo código es: "S17_05_2020LC030". A continuación, se muestra la Tabla VII con las diferentes equivalencias de color y código de la geodatabase de SWAT

Tabla VII

Equivalencias de valores de clases

Valor	Código	Descripción
10	AGRL	Tierra cultivada
20	FRST	Forestal
30	PAST	Pradera
40	FRST	Tierra de arbustos
50	WATR	Humedal
60	WATR	Cuerpo de agua
70	SPAS	Tundra
80	URML	Superficies artificiales
90	BARR	Tierra desolada
100	BARR	Nieve y hielo permanente

Nota: Los valores y códigos se muestran en la plataforma de GlobalLand 30

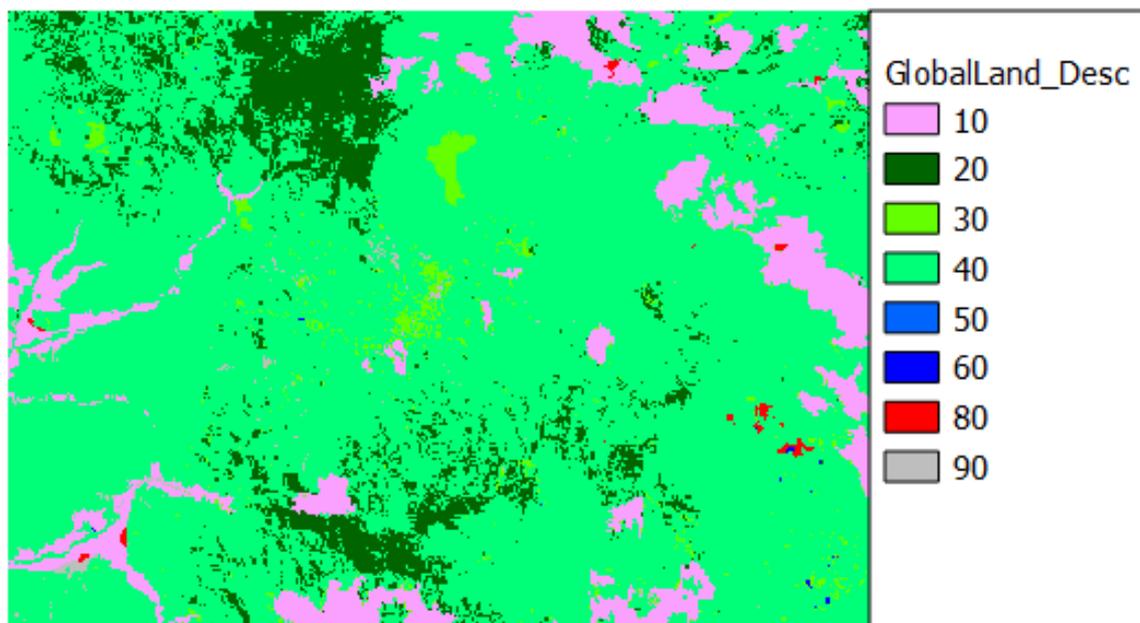


Fig. 11. Mapa de uso de cobertura de la subcuenca.

Tipo de suelos

Para los datos de tipos de suelos se utilizó el mapa mundial de la FAO-UNESCO. El procedimiento consistió en reproyectar el mapa base en coordenadas geográficas, para así cortar según la zona de estudio, luego se reproyecta en coordenadas UTM y se rasteriza según el formato necesario en el espacio de SWAT. En la Fig. 12 se muestra el proceso automatizado en ArcGIS 10.5.

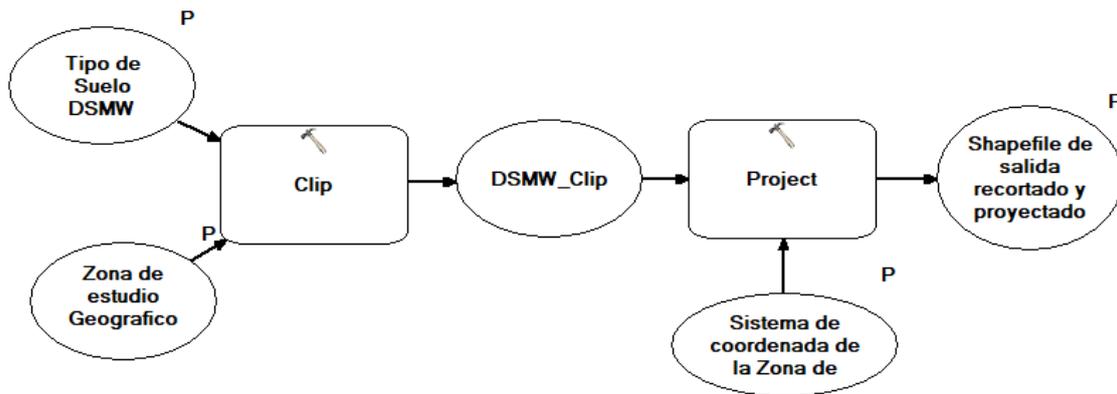


Fig. 12. Proceso mapa de tipo de suelos FAO.

Del proceso se obtuvo dos clasificaciones según las denominaciones de la FAO: 0.28% de bosque de montaña húmedo en las pendientes, bosques xerofíticos y de sabana en los valles, paramo en las mesetas altas (HI 6-3b); 22.27% de bosque montano de seco a húmedo (I-H1-K1-bc), 13.23% de bosques húmedos montanos en las pendientes, bosques xerofíticos en los valles, páramo en las mesetas (I-H1-c); 3.54% de espinar montano (I-K1-X1-c), 51.25% de bosque xerofítico montano y matorrales de cactus (1-K1-c), 7.67% de estepa montana y desierto (I-c), 1.57% de tierras de cultivo (Je7-3a), 0.17% de estepa y matorrales montanos (Re3-1a).

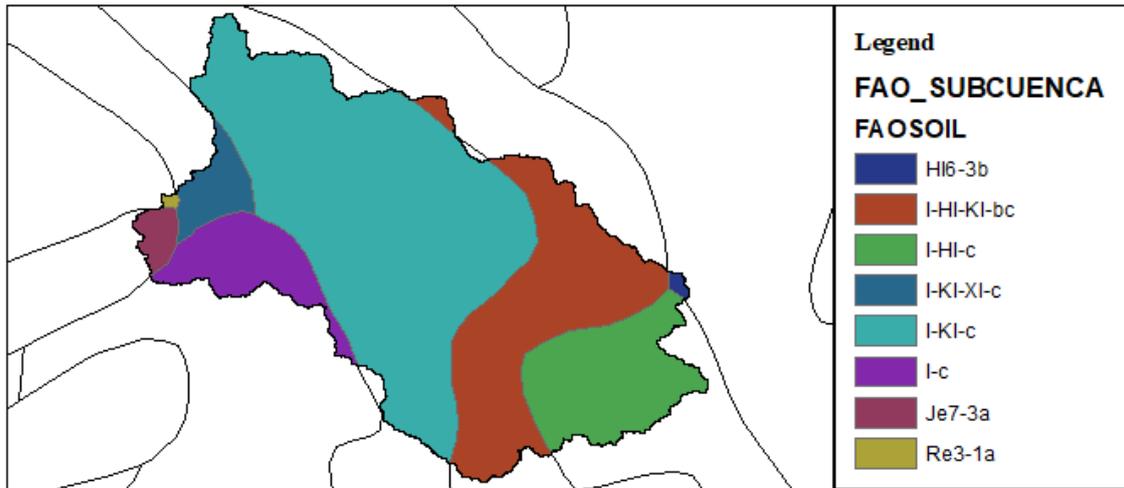


Fig. 13. Mapa de tipo de suelos FAO.

Data climática global

Se utilizaron dos datas climáticas mundiales: el sistema global CFSR (Climate Forecast System Reanalysis) y del portal de datos de CHRS (Center for Hydrometeorology & Remote Sensing) con fines de comparación, completación y correlación de datos al valor más aproximado del parámetro climático.

La data climática CFSR forma parte de la base de datos del entorno SWAT, y contiene información de 36 años; desde 1979 hasta el 2014. El sistema global es de alta resolución y se pueden descargar datos diarios de precipitación, viento, humedad relativa y radiación solar en formato csv. Debido a la inexistencia de cierta información meteorológica nacional en la zona de estudio como: viento, humedad relativa, solar; la data climática global será aprovechada como complemento y solución a los datos faltantes.

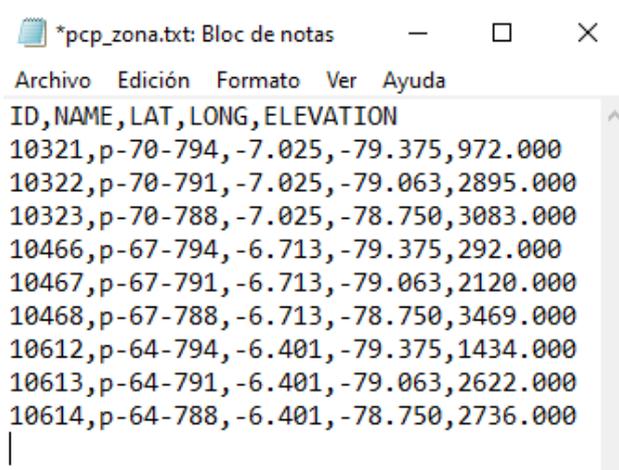


Fig. 14. Estaciones virtuales CFSR utilizadas en la zona de estudio.

Por otro lado, el portal CHRS presenta un archivo de datos de información satelital global de precipitaciones de varios sistemas entre ellos; PERSIANN-CDR y PERSIANN-CCS-CDR. Los sistemas utilizan un algoritmo de red neuronal que combina datos de varios satélites TMRR (Misión de Medición de Luvias Tropicales); tales como sensores de imágenes Microwave TRMM (TMI) de información cuantitativa de lluvias. Es posible la descarga de información espacio-temporal desde enero de 1983 hasta el presente.

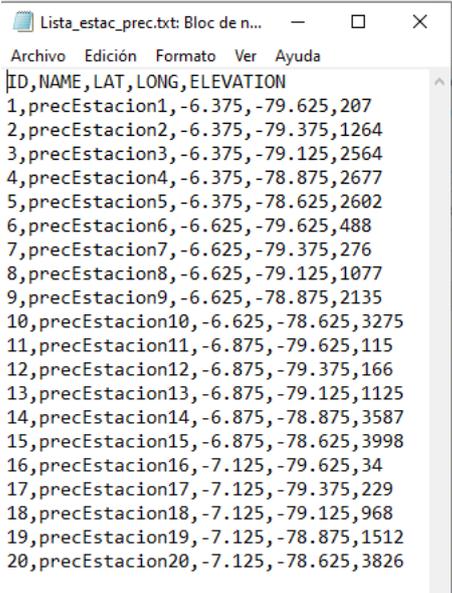
Para extraer la información del producto PERSIANN-CDR y PERSIANN-CCS-CDR con resolución espacial de $0.25^\circ \times 0.25^\circ$ (25km x 25km) y $0.04^\circ \times 0.04^\circ$ (4km x 4km) respectivamente; se utilizó el lenguaje de programación R. Primero se crearon estaciones virtuales en el entorno ArcGis con la herramienta "Conversion Tools/Raster to point" para generar un código de lectura con extensión csv. Luego en el entorno RStudio se continua a realizar la composición de bandas y se extraen los datos de precipitación por medio de la importación del archivo shapefile de la subcuenca y se previó de no contar con datos nulos (de ser el caso colocar valor promedio al valor faltante). Por último, se realiza la composición de datos en archivos tipo txt para que las listas de estaciones virtuales generadas sean compatibles con el SWAT.

```

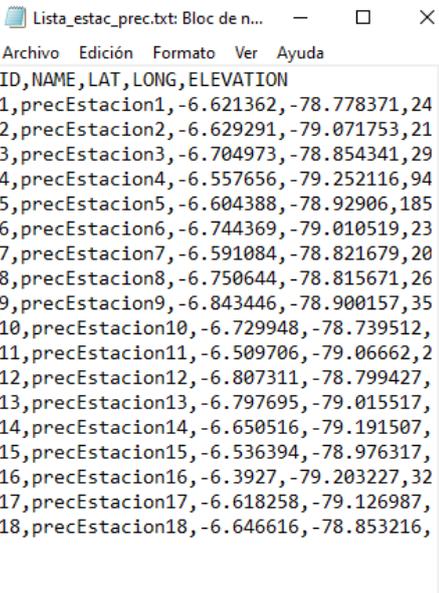
46 for (i in 1:(length(nom)-1)){
47   cab <- "19830101"# fecha de inicio de la serie ano/mes/dia
48   x.1 <- CHRS_pp[[i+1]]
49   x.1[is.na(x.1)] <- -99
50   x <- sapply(X = x.1[,FUN = as.character)
51   x2 <- c(cab,x)
52   x3 <- data.frame(x2)
53   write.table(x3,paste("Datos_Climaticos_Zona/PERSIANN_CDR/Diario/SalidaR/prec_swat", "/", "prec",
54                       nom[i+1], ".txt", sep=""),
55               row.names=F, quote = F, col.names = F)
56 }
57

```

Fig. 15. Generación en RStudio de archivos en formato compatible con SWAT.



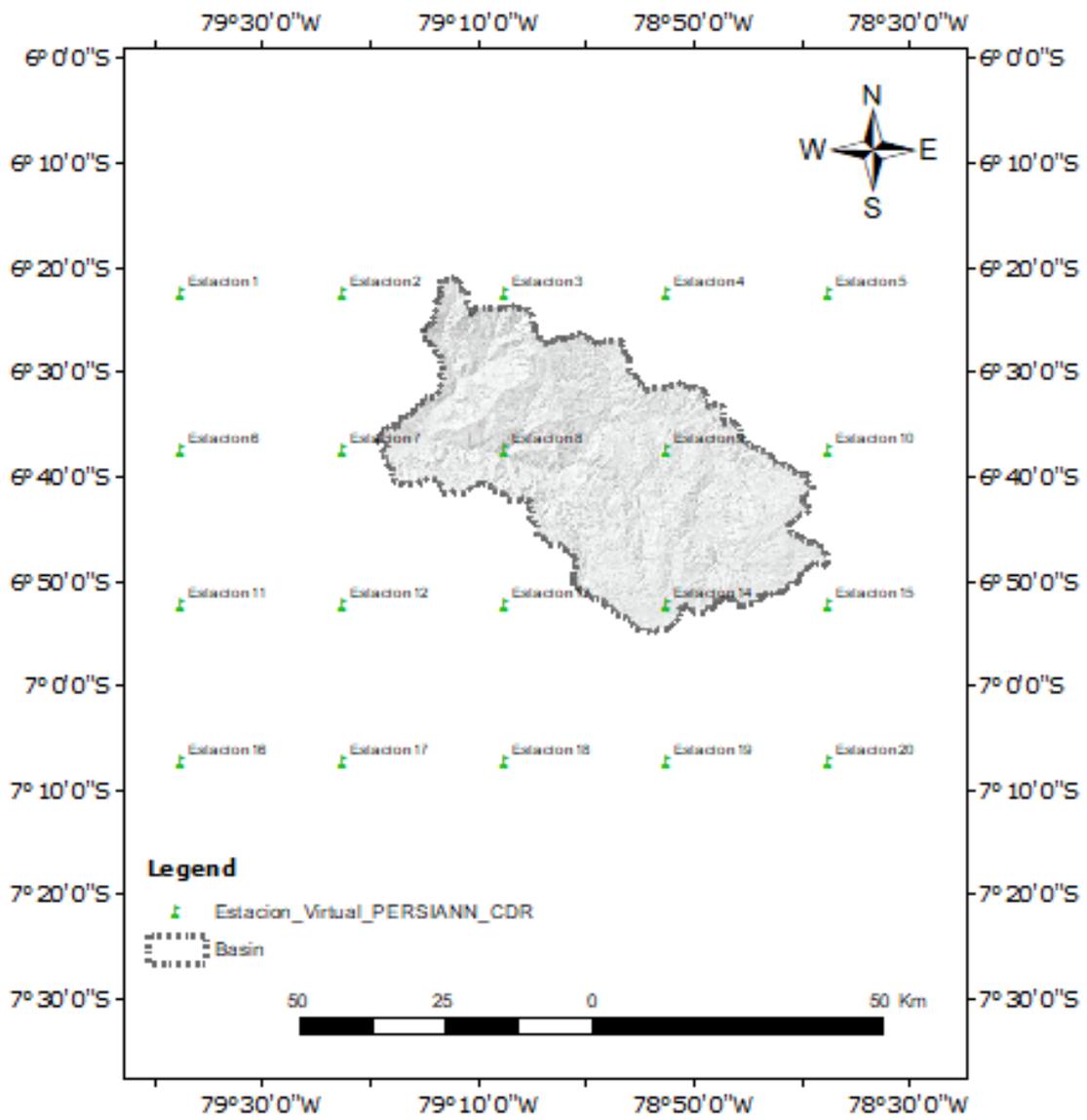
(a)



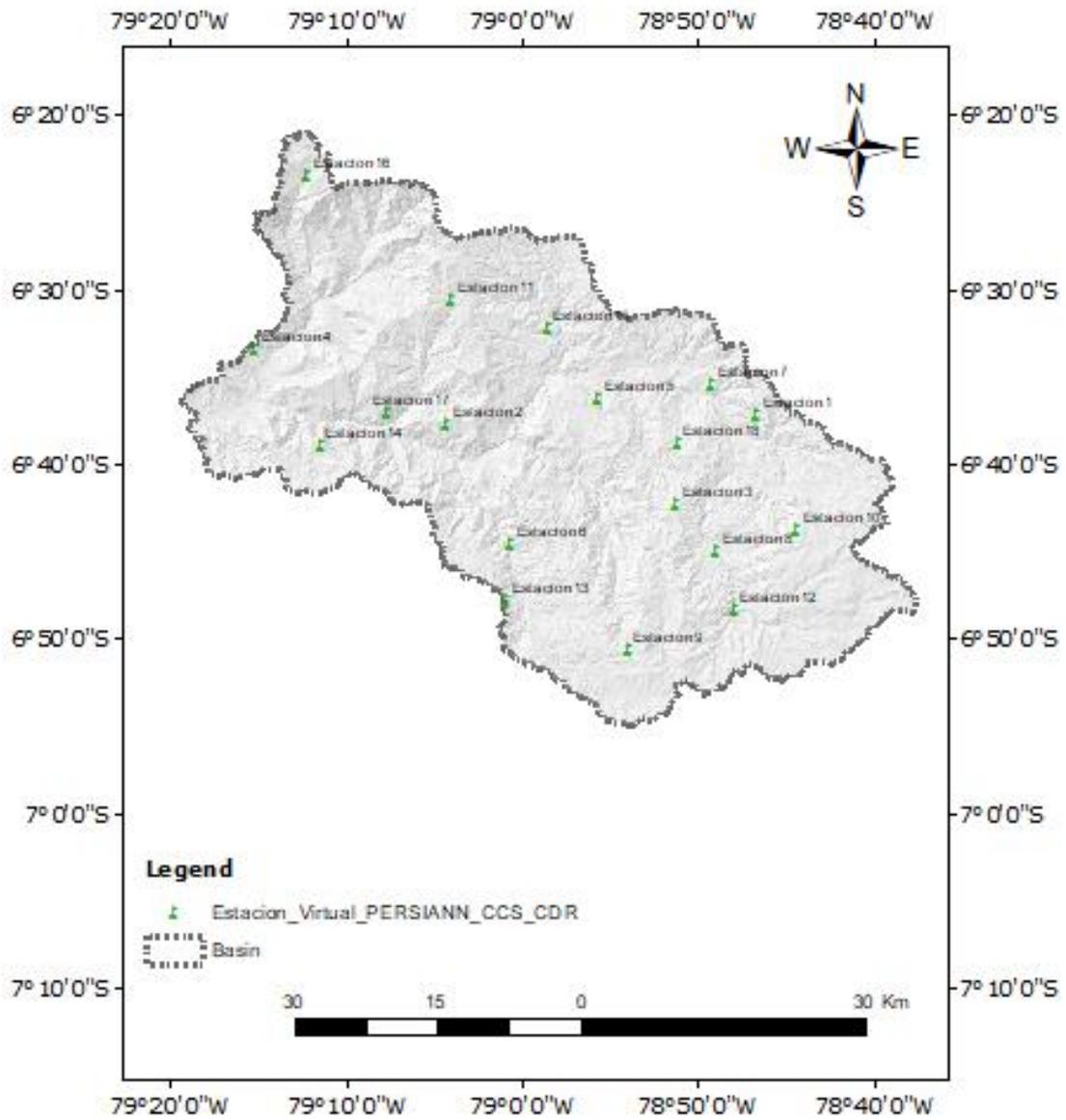
(b)

Fig. 16. Estaciones virtuales CHRS: (a) Estaciones generadas por PERSIANN-CCR (b) Estaciones generadas por PERSIAN-CCS-CCR

Para los datos PERSIANN-CCR se extrajeron en total 468 datos mensuales (1/1983-12/2021) y 153400 datos diarios (1/1997-12/2015) de veinte estaciones virtuales. De los datos PERSIANN-CCS-CCR se extrajeron en total 532 datos mensuales (1/1983-12/2020) y 144648 datos diarios (1/1997-12/2015) de dieciocho estaciones virtuales.



(a)

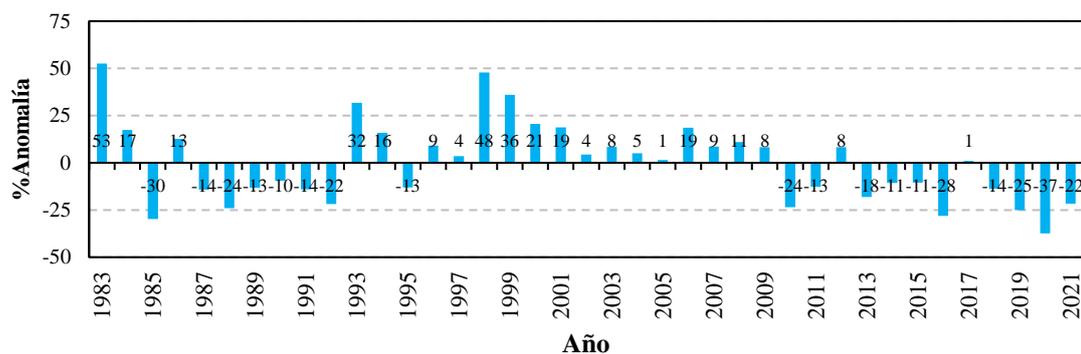


(b)

Fig. 17. Mapas de estaciones virtuales CHRS: (a) Estaciones PERSIANN-CDR (b) Estaciones PERSIAN-CCS-CDR.

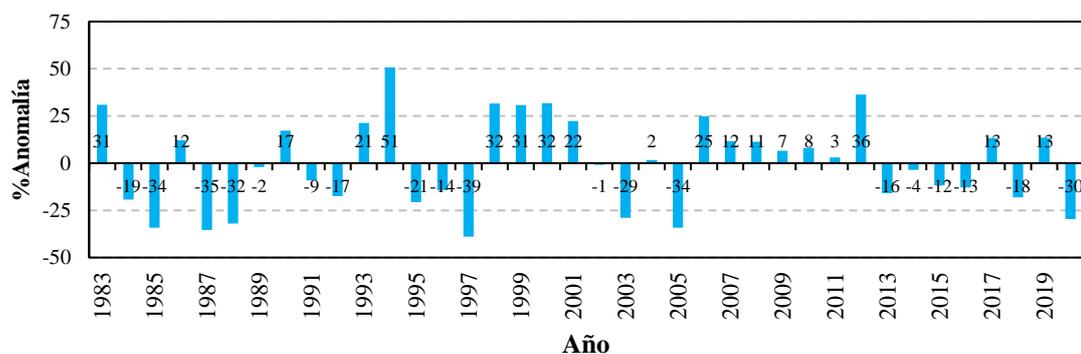
De manera alternativa, se aplicó la fórmula las anomalías de precipitación (en la subcuenca $((PP_anual_i - Prom_Anual)/Prom_Anual)*100$), destacando los periodos de los años 83', 94' y 98' como los periodos con superávit de lluvia y periodos de los años 85', 88' y 20' muy secos.

Anomalías anuales de precipitación



(a)

Anomalías anuales de precipitación



(b)

Fig. 18. Porcentajes de anomalías anuales de precipitación en la subcuenca: (a) PERSIANN-CDR y (b) PERSIANN-CCS-CDR.

3.3. Información hidrometeorológica nacional de la cuenca en estudio

Data Meteorológica

La información meteorológica fue obtenida de; portales web como SENAMHI y además solicitada al PEOT (Proyecto Especial Olmos Tinajones). Los datos históricos de la estación Chancay Baños se obtuvo desde 1987 hasta el 2014. La estación Chugur, Cochabamba, Querocotillo y Udima contiene información desde 1963 hasta el 2014. Por último, de la estación Llama se obtuvo información desde 1967 hasta el 2015. En la Fig. 19 se muestran los puntos de control de las estaciones pluviométricas.

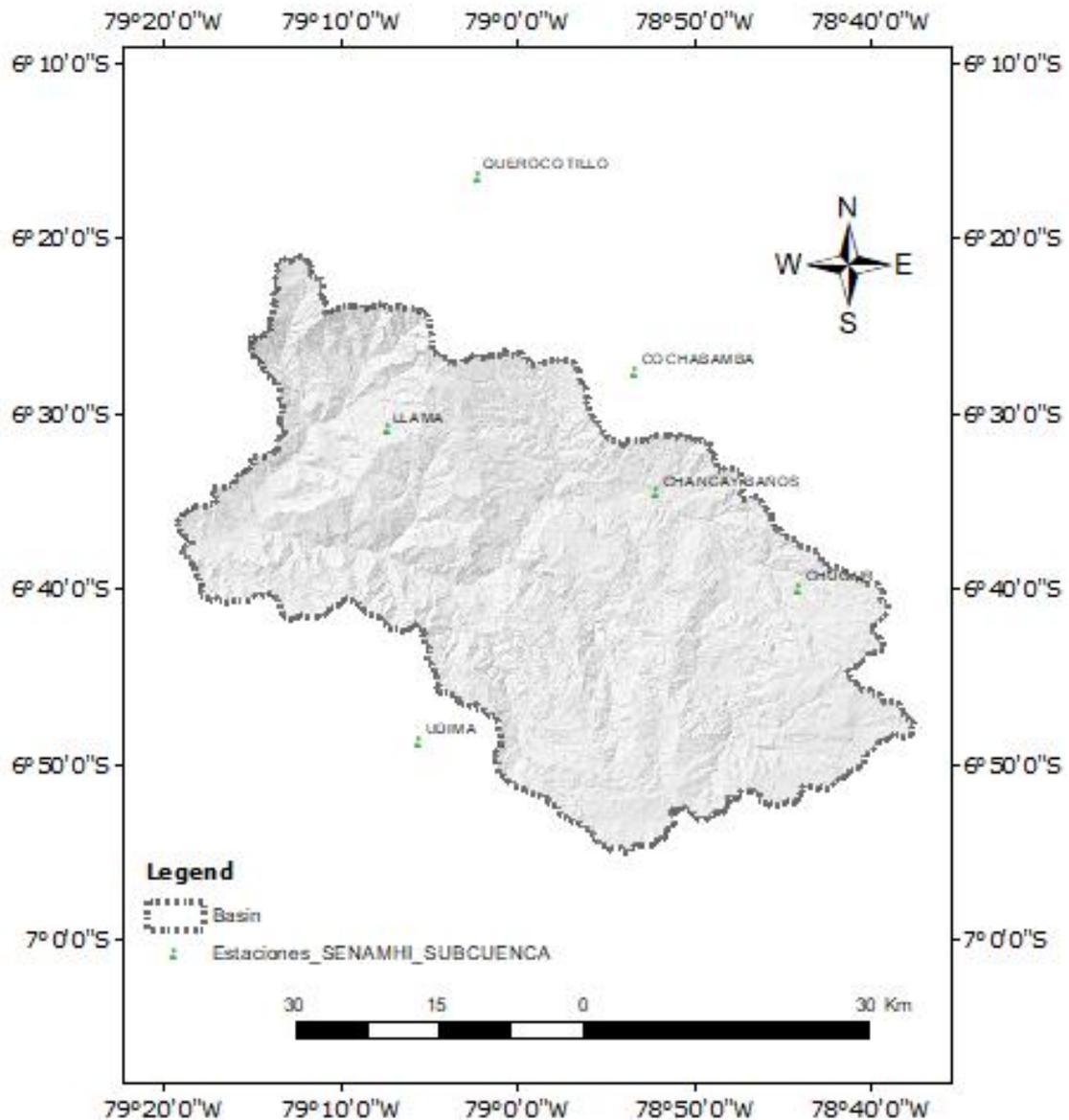


Fig. 19. Mapa de estaciones meteorológicas SENAMHI.

La estación Chancay Baños es de tipo climática convencional y se encuentra en la zona nor este de la subcuenca. La época regular de precipitaciones se ha dado durante los meses de febrero o marzo, mientras que los meses de estiaje sucede la mayor parte del año; es decir, desde los meses de mayo a noviembre. En un día la máxima precipitación alcanzado 88.8 mm en el 2010. En la Fig. 20 se visualiza la data de precipitación de la estación obtenida del SENAMHI. Existen datos faltantes del año 87', por lo cual se presenta a continuación a partir de setiembre.

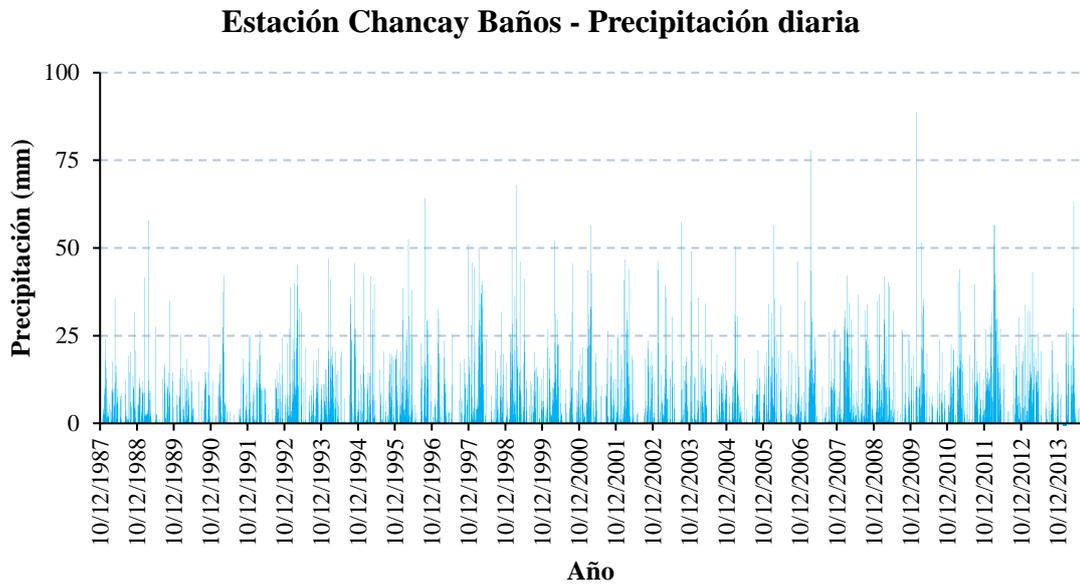


Fig. 20. Gráfico de histograma de la estación Chancay Baños. [39]

La estación Chugur es de tipo convencional meteorológica ubicado en la zona este de la subcuenca. Las precipitaciones registran casi siempre todos los meses, por lo que no podría establecerse meses específicos de lluvias ni estiaje. En un día, la máxima precipitación alcanzado 102.6 mm en marzo del 1966. A continuación, en el histograma de la Fig. 21 se visualiza la data de precipitación histórica de la estación obtenida de SENAMHI. Los datos faltantes corresponden algunos días del año 67', 69', 91', 05'.

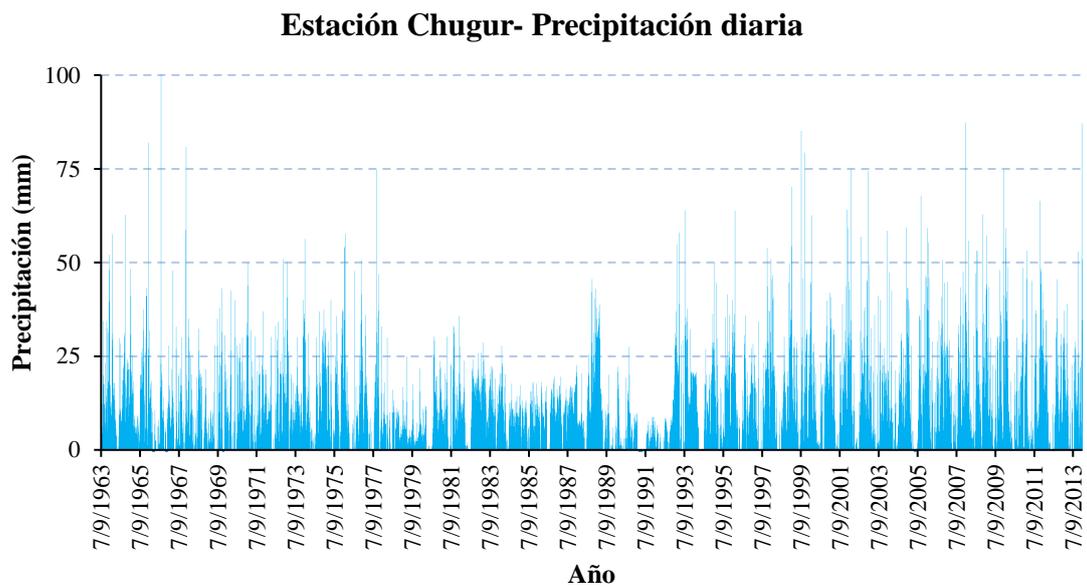


Fig. 21. Gráfico de histograma de la estación Chugur. [39]

La estación Cochabamba es de tipo convencional meteorológica y se encuentra en la zona norte de la zona de estudio. La época regular de precipitaciones se ha dado durante los meses de febrero a abril, y ha llegado a alcanzar el máximo registro con 102 mm de precipitación diaria. En la Fig. 22 se visualiza la data de precipitación histórica de la estación obtenida de SENAMHI. Los datos faltantes corresponden algunos días de los años 83-85', 94'.

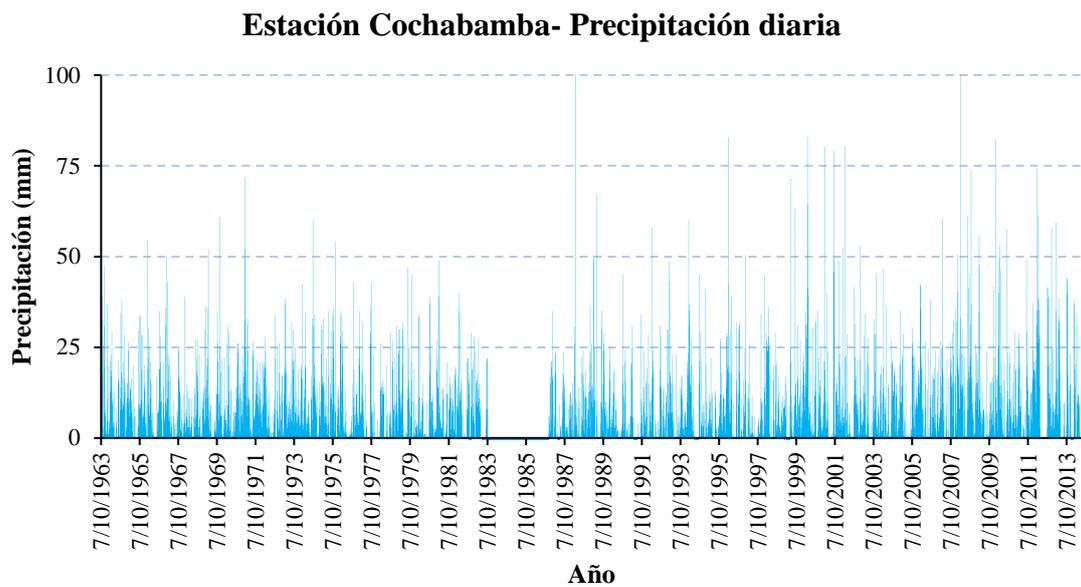


Fig. 22. Gráfico de histograma de la estación Cochabamba. [39]

La estación Querocotillo es de tipo convencional meteorológica ubicado en la zona nor oeste de la subcuenca. Las precipitaciones registran casi siempre todos los meses, por lo que no podría establecerse meses específicos de lluvias ni estiaje. En un día, la máxima precipitación alcanzado 80 mm en marzo del 1998. A continuación, en el histograma de la Fig. 23 se visualiza la data de precipitación histórica de la estación obtenida de SENAMHI. Los datos faltantes corresponden algunos días del año 64', 14'.

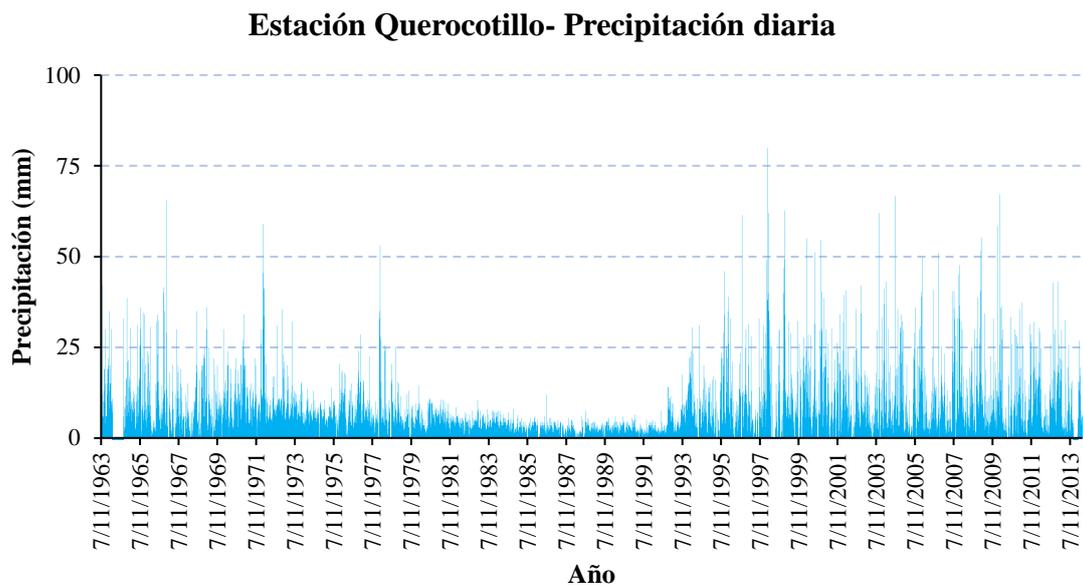


Fig. 23. Gráfico de histograma de la estación Querocotillo. [39]

La estación Udima es de tipo convencional meteorológica y se encuentra en la zona sur de la zona de estudio. La época regular de precipitaciones se ha dado durante los meses de marzo a mayo, y ha llegado a alcanzar el máximo registro con 540 mm de precipitación diaria. En la Fig. 24 se visualiza la data de precipitación histórica de la estación obtenida de SENAMHI. Los datos faltantes corresponden algunos días de los años 64', 67', 68'.

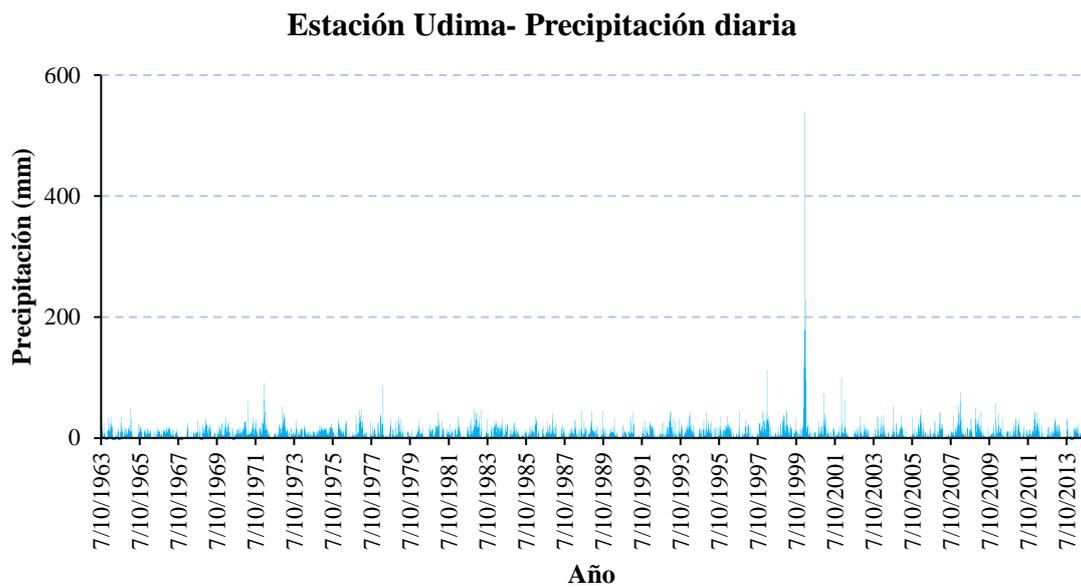


Fig. 24. Gráfico de histograma de la estación Udima. [39]

La estación Llama es de tipo convencional meteorológica y se encuentra en la zona nor oeste de la zona de estudio. La época regular de precipitaciones se ha dado durante los meses de noviembre a marzo, y ha llegado a alcanzar el máximo registro con 123.3 mm de precipitación diaria. En la Fig. 25 se visualiza la data de precipitación histórica de la estación obtenida de SENAMHI. Los datos faltantes corresponden algunos días de los años 77', 87', 88', 92'.

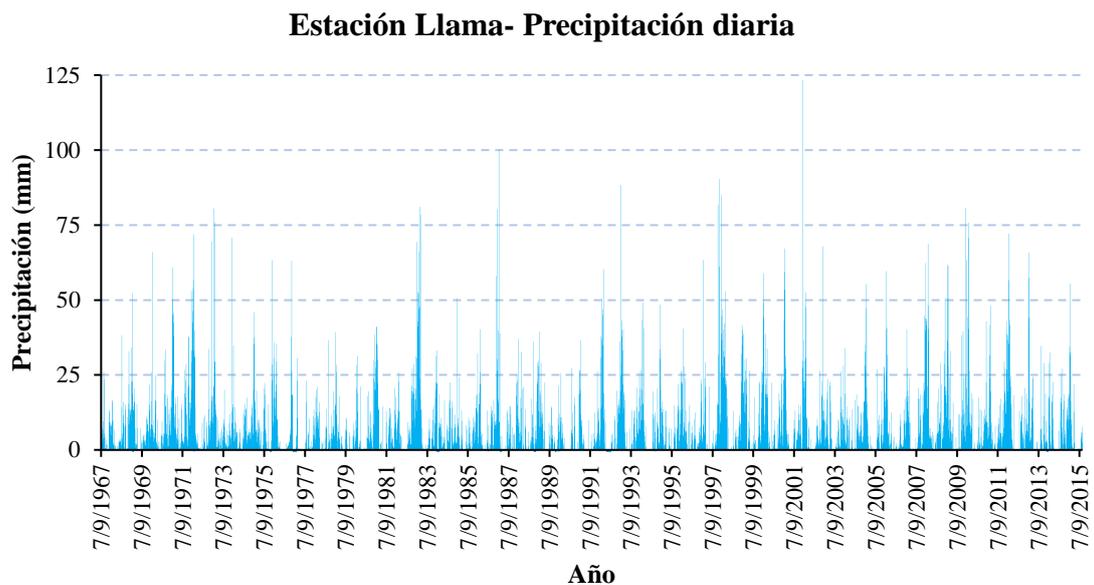


Fig. 25. Gráfico de histograma de la estación Llama. [39]

Por otro lado, SENAMHI ha desarrollado un producto de base de datos climática como precipitación y temperatura; debido a la falta de información y poca disponibilidad de estaciones meteorológicas a nivel nacional. El grillado de PISCO fue generado por medio de 443 estaciones (de 681) bajo un riguroso control de calidad en su segunda versión para los años de 1981-2016. La descarga de información se realizó en la página web <https://iridl.ldeo.columbia.edu/SOURCES/.SENAMHI/.HSR/.PISCO/> respecto a los datos de precipitación diario y mensual (v2p1) y temperatura máxima y mínima (v1p1) en formato de extensión nc.

Para extraer la información del producto PISCO con resolución espacial de $0.1^\circ \times 0.1^\circ$ (10km x 10km); se utilizó el lenguaje de programación R. En principio se procedió a crear las estaciones virtuales en el entorno RStudio (extensión no permite la manipulación en ArcGis); en principio agregando una banda para la generación de puntos por cada pixel de resolución, recortar el ráster de precipitación con el archivo shapefile de la subcuenca y luego reproyectar los datos respecto a la subcuenca. Para obtener los valores de precipitación y temperatura en la zona, en RStudio se agregaron los archivos tipo nc y las estaciones creadas en formato shapefile de la subcuenca, como se muestra a continuación

en la Fig. 26. Por último, se realiza la composición de datos; tanto de precipitación como de temperatura en archivos tipo txt para que las listas de estaciones virtuales generadas sean compatibles con el entorno de SWAT.

```

36 # Agregar estacion shapefile
37 Estacion <- shapefile("PISCO/1_PISCO_Prec/Estacion_Virtual_PISCO_Z.shp")
38 plot(Estacion, add=T, col= "red", pch = 20, cex = 0.1)
39
40 # extraer los valores Precipitacion
41 puntos_Estacion_pp <- extract(raster_pp[[1]],Estacion,cellnumbers = T)[,1]
42 datos_estacion_pp <- t(raster_pp[puntos_Estacion_pp])
43 colnames(datos_estacion_pp) <- as.character(Estacion$NAME)
44
45 # extraer los valores Temperatura max
46 puntos_Estacion_Tmax <- extract(raster_Tmax[[1]],Estacion,cellnumbers = T)[,1]
47 datos_estacion_Tmax <- t(raster_Tmax[puntos_Estacion_Tmax])
48 colnames(datos_estacion_Tmax) <- as.character(Estacion$NAME)
49
50 # extraer los valores Temperatura min
51 puntos_Estacion_Tmin <- extract(raster_Tmin[[1]],Estacion,cellnumbers = T)[,1]
52 datos_estacion_Tmin <- t(raster_Tmin[puntos_Estacion_Tmin])
53 colnames(datos_estacion_Tmin) <- as.character(Estacion$NAME)
54

```

Fig. 26. Generación en RStudio de archivos “pp”, “Tmax” y “Tmin

ID	NAME	LAT	LONG	ELEVATION
1	precEstacion1	-6.45	-79.15	1552
2	precEstacion2	-6.45	-79.050001	3113
3	precEstacion3	-6.55	-79.15	1999
4	precEstacion4	-6.55	-79.050001	2575
5	precEstacion5	-6.55	-78.950001	1782
6	precEstacion6	-6.55	-78.850001	2091
7	precEstacion7	-6.65	-79.25	870
8	precEstacion8	-6.65	-79.15	1799
9	precEstacion9	-6.65	-79.050001	1654
10	precEstacion10	-6.65	-78.950001	2195
11	precEstacion11	-6.65	-78.850001	2371
12	precEstacion12	-6.65	-78.750001	2411
13	precEstacion13	-6.75	-79.050001	2638
14	precEstacion14	-6.75	-78.950001	2839
15	precEstacion15	-6.75	-78.850001	3078
16	precEstacion16	-6.75	-78.750001	3630
17	precEstacion17	-6.85	-78.950001	3278
18	precEstacion18	-6.85	-78.850001	3698
19	precEstacion19	-6.85	-78.750001	3330

Fig. 27. Estaciones virtuales PISCO de la zona de estudio.

Se extrajeron en total 432 datos mensuales y 249831 datos diarios (1/1981-12/2016) de diecinueve estaciones virtuales. Además, aplicando la fórmula de anomalías de precipitación, se obtuvieron periodos con superávit en los años 83', 98' y 08' y periodos muy secos en el 85', 91' y 03'.

Anomalías anuales de precipitación

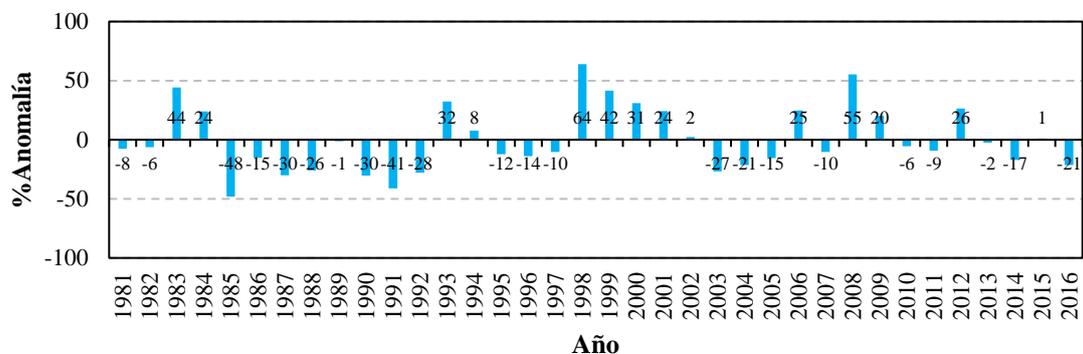


Fig. 28. Porcentajes de anomalías anuales de precipitación PISCO en la subcuenca.

Data Hidrométrica

La data hidrométrica de descargas diarias fueron obtenidas de la estación Racarrumi, para los años del 2000 al 2012 y proporcionada por el Proyecto Especial Olmos Tinajones (PEOT), quien es encargado de la operación y mantenimiento del valle del río Chancay.

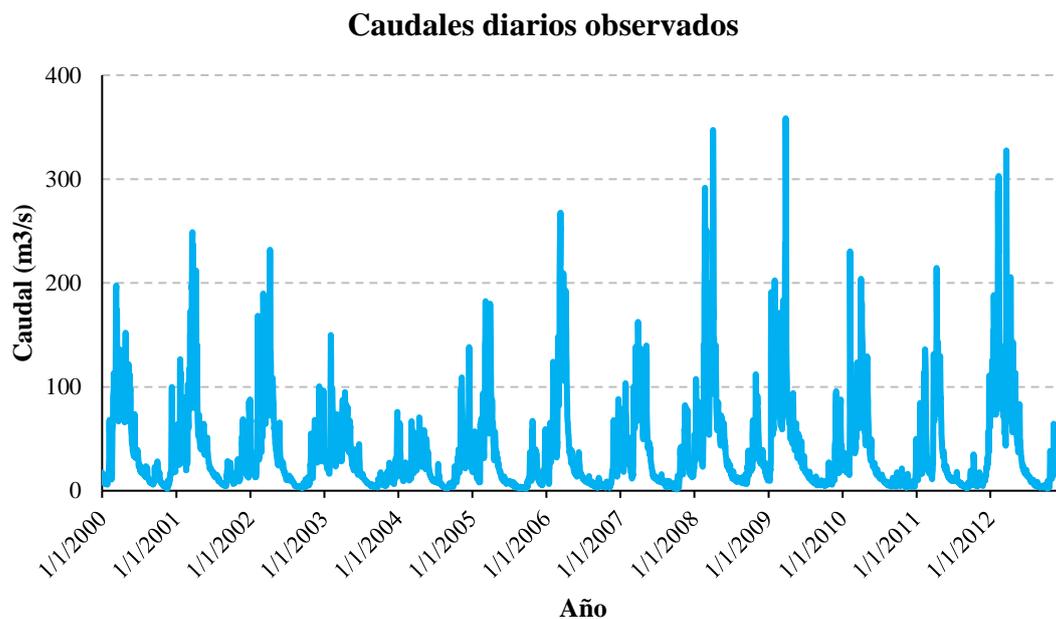


Fig. 29: Registro histórico de caudales observados en punto de aforo de la subcuenca. Fuente: PEOT

3.4. Línea base de producción y ejecución del modelo SWAT

Previamente a la interacción con el entorno SWAT se debe crear una carpeta en el disco local y asegurar que este cuente con gran espacio de almacenamiento disponible; además de configurar el formato de fecha (aaa/mm/dd) y símbolo decimal.

La ejecución del modelo se llevó a cabo desde la incorporación del DEM de la zona de la subcuenca y la asignación de la salida de flujo de corrientes de agua (punto de aforo) dentro de la zona de descarga principal. El modelo generó de manera automática una sobrestimación de puntos de monitoreo; que dan origen a la formación de subcuencas, sin embargo, se optó por eliminar aquellos puntos que no correspondían dentro de la zona, y de esa manera se generaron cinco microcuencas como se muestra en la Fig. 30.

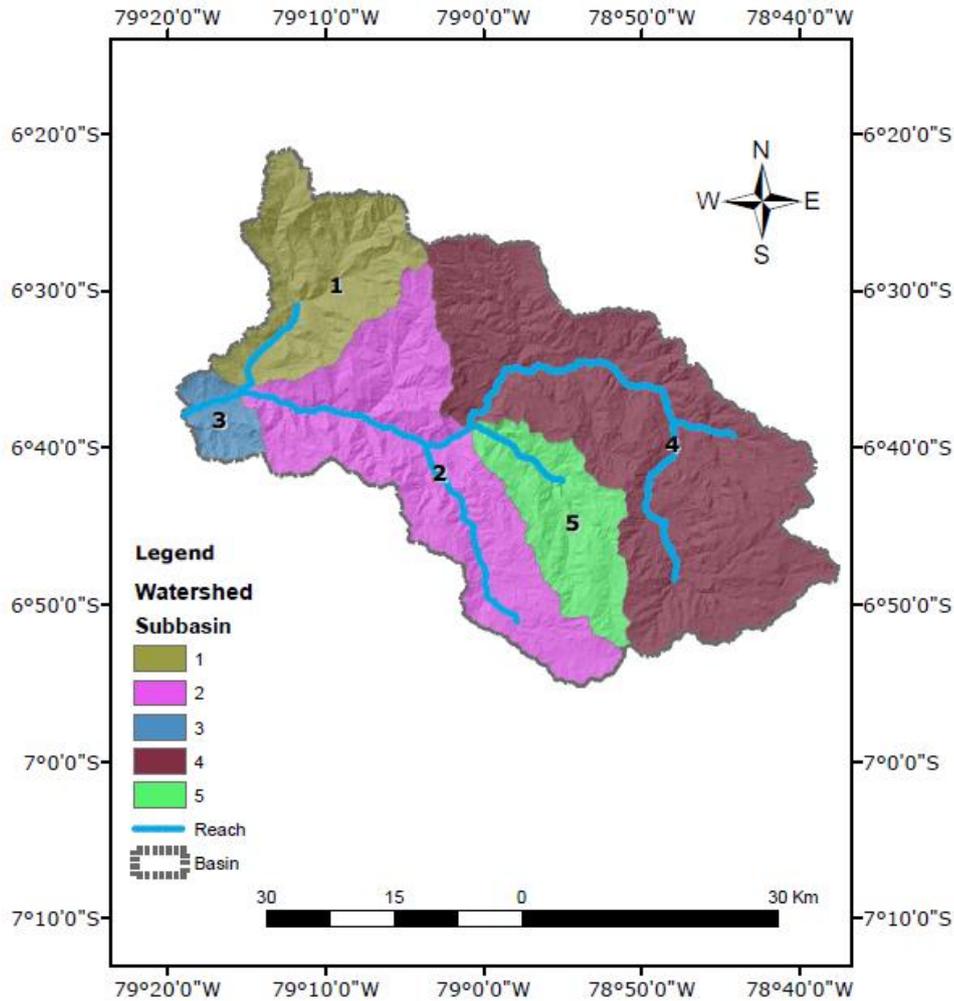


Fig. 30. Delimitación de subcuencas.

Para que el modelo genere HUR's, se ingresaron los mapas de uso y tipo de suelo; así también se configuró los porcentajes de pendientes características de la zona (cada 10%) en las que se irán analizando cada respuesta hidrológica. Tanto para los mapas de uso y tipo de suelo se asignaron sus respectivas Tablas de equivalencia y denominación. En total se generaron 276 HRU's según características configuradas de manera manual.

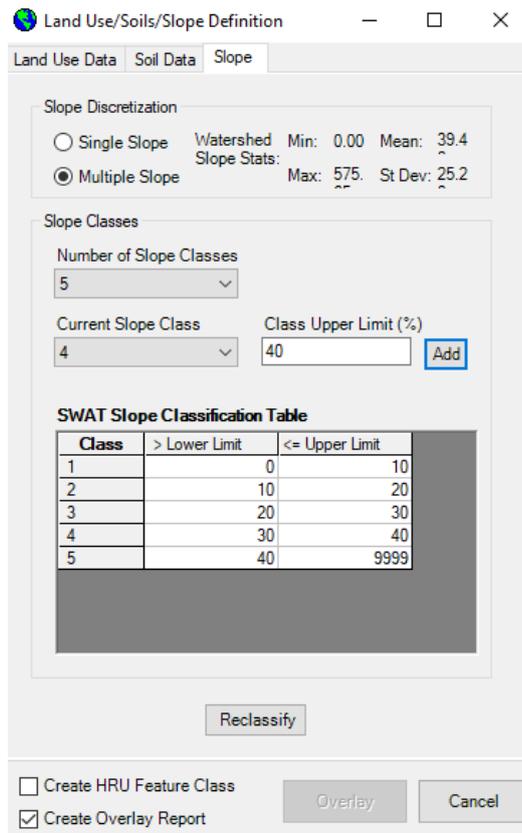
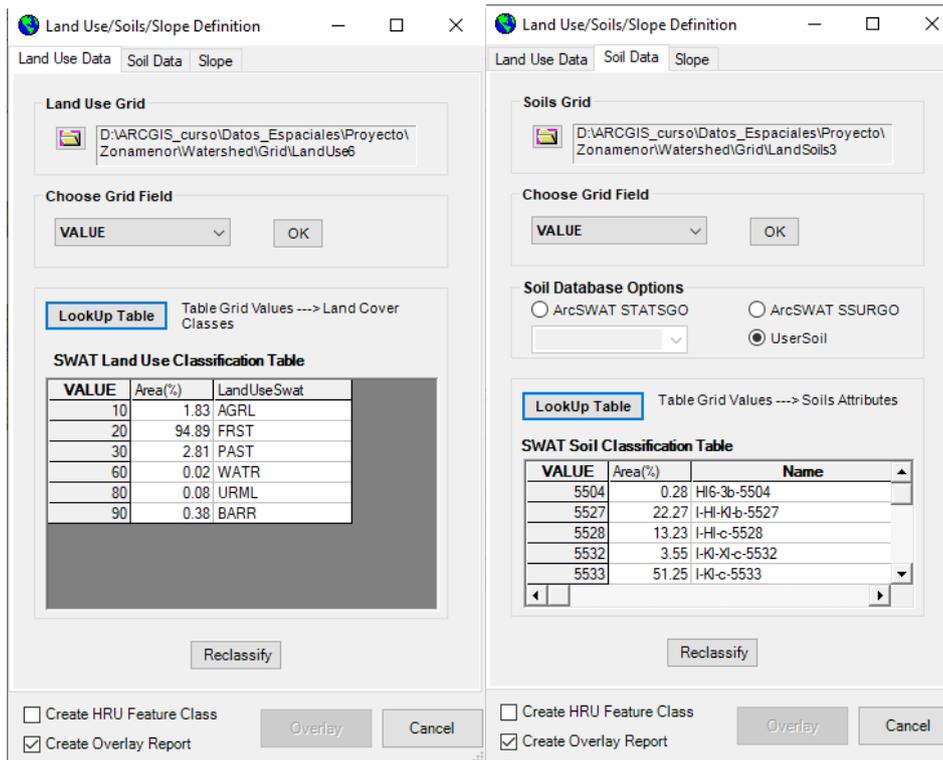


Fig. 31. Configuración para HRU's.

Seguido a ello se cargaron las bases de datos climática (por separado) realizadas en R, con el fin de estimar la cantidad de escorrentía en el punto de desfogue y seleccionar el más cercano al real observado. Las bases de datos de PISCO, SENAMHI y CHRS se completaron de información climática con la data CFSR como radiación solar, humedad relativa, velocidad de viento y temperatura (a excepción de PISCO). Por último, se completa la configuración con la designación del periodo de simulación y años de calentamiento/patrón. Por ejemplo, para la data climática de PISCO es posible la simulación desde 1981 hasta el 2016 de manera diaria.

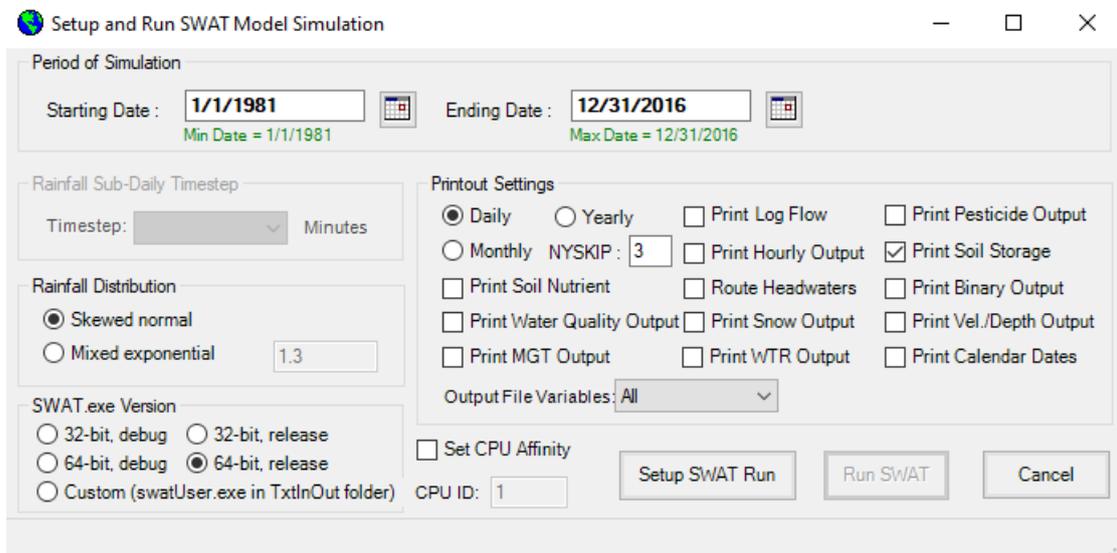


Fig. 32. Configuración para simulación del modelo SWAT.

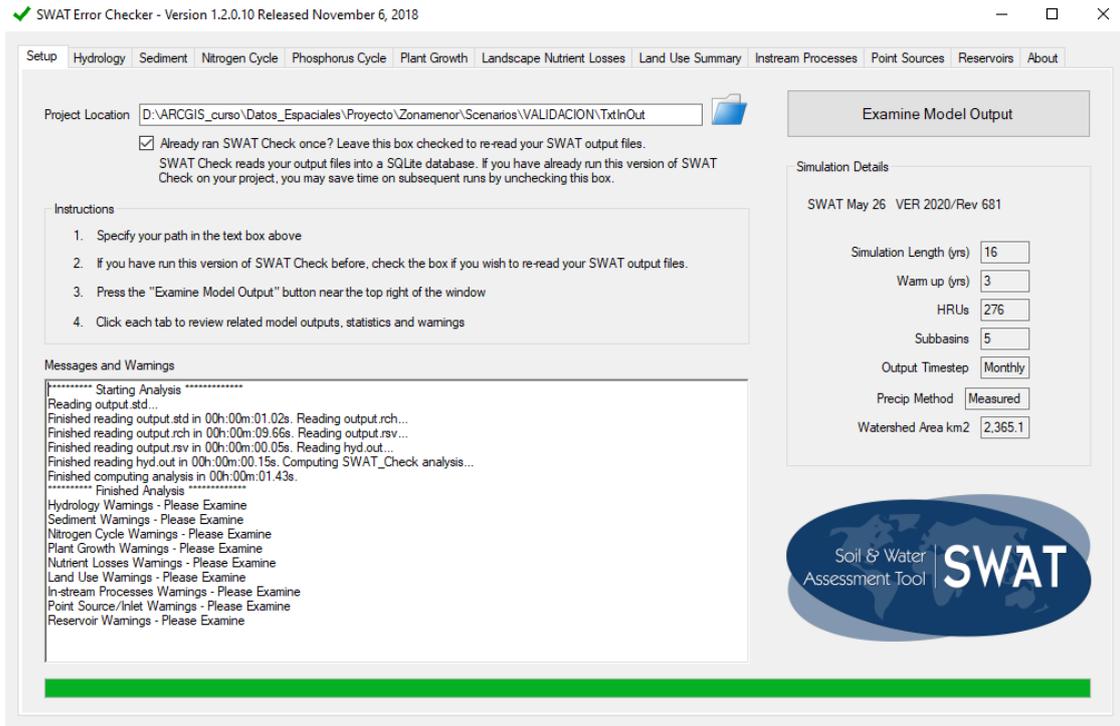


Fig. 33. Reporte de salida del modelo SWAT simulado.

3.5. Correlación espacial y grado de significancia de los datos climáticos

Previo a realizar la fase de calibración, fue determinante la comparación de los resultados obtenidos del modelo SWAT, respecto de la escorrentía superficial con las datas climáticas. Por ello, se utilizó el método R de correlación de Pearson para medir el grado de significancia en base a coeficientes, donde el valor “1”; significa la existencia de una correlación lineal positiva total, los valores de “-1” significa que la serie se mueve en una dirección lineal opuesta total y cuando resultan valores “0” significa la inexistencia de relación entre variables cuantitativas. En la Fig. 34 se muestra la matriz de correlación diaria de simulación de escorrentía, el cual varía desde 0 a 0.51. Los resultados demuestran que los datos observados presentan mayor grado de correlación con los datos PERSIANN_CCS_CDR, sin embargo, es el único dentro de un rango aceptable. Por lo cual, en adelante se utilizarán como data base de ajuste al real observado.

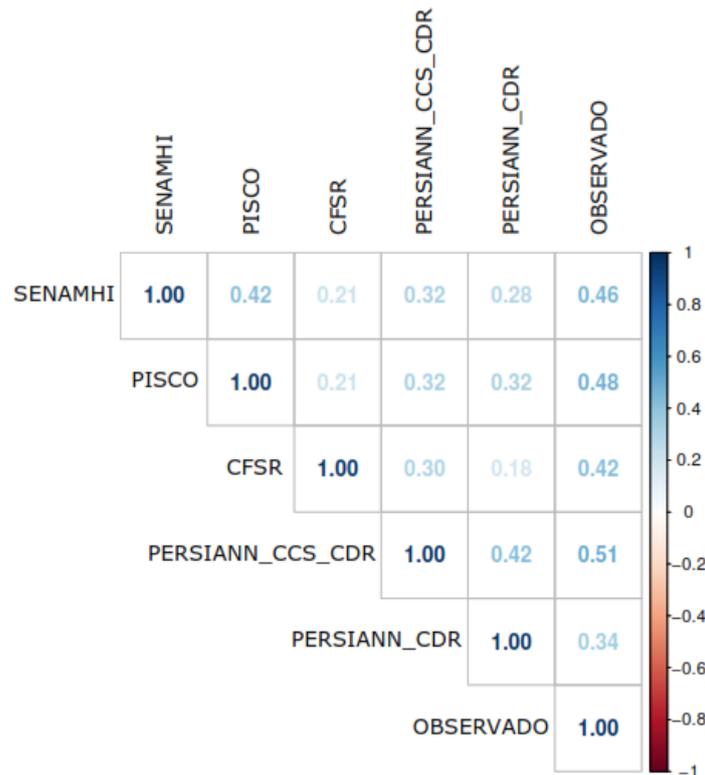


Fig. 34. Correlación espacial de los valores de escorrentía a partir de la data climática.

3.6. Análisis de Sensibilidad

Los resultados obtenidos de manera inicial; utilizando los parámetros por defecto, no fueron del todo satisfactorios. El modelo SWAT se basa en proceso hidrológicos reales, por ello es necesario realizar una parametrización tal que su rango de incertidumbre sea el más realista posible. Como primer paso se realizó la determinación de los parámetros más sensibles de la subcuenca.

Se utilizaron 13 parámetros sensibles basados en una revisión de literatura y posterior a ello se clasificó del más al menos sensible. El programa utilizado para calcular los procesos de calibración e incertidumbre fue el SWAT-CUP. Además, se siguió la sugerencia de varios estudios que señalan a SUFI-2 (Algoritmo de ajuste de incertidumbre secuencial) como el más adecuado para los mencionados procesos. Para el análisis de sensibilidad, todas las incertidumbres se cuantifican por un grado denominado como factor P, el cual es un porcentaje que mide la incertidumbre del 95%, por otro lado, el factor t-Stat indica la mayor sensibilidad del parámetro.

Como primer paso, se realizaron las simulaciones en función objetivo de Nash-Sutcliffe (NS), cuyo coeficiente aceptable debe ser mayor a 0.4. El segundo paso consistió en establecer valores en rangos mínimos y máximos de los parámetros (Tabla VIII), de tal manera que sean significativos para la optimización de las simulaciones.

Tabla VIII

Modificaciones de los parámetros SWAT, antes y después de la calibración

Parámetro	Mínima valor	Máximo valor	Valor inicial	Valor calibrado
r_CN2.mgt	40.000	90.000	87-92	56-76
v_ALPHA_BF.gw	0.683	0.745	0.048	0.707
v_GW_DELAY.gw	480.815	510.034	500.000	502.729
v_GWQMN.gw	2.044	2.248	1000.000	2.089
v_GW_REVAP.gw	0.112	0.124	0.020	0.121
v_ESCO.hru	0.973	0.988	0.950	0.974
v_CH_N2.rte	0.199	0.232	0.014	0.228
v_CH_K2.rte	224.839	241.071	0.000	238.404
v_ALPHA_BNK.rte	0.181	0.216	0.000	0.212
r_SOL_AWC(1).sol	0.169	0.209	0.122	0.201
r_SOL_K(1).sol	0.000	68.989	8.230	0.906
r_SOL_BD(1).sol	0.700	121.658	1.300	0.860
v_SFTMP.bsn	3.456	4.470	-1.100	3.999

Nota: Los valores de los parámetros se introdujeron dentro del entorno SWAT

En el análisis de sensibilidad se presentaron los parámetros de forma descendente, como se muestra en la Fig. 35, se observa que los factores más influyentes e importantes en P-Value son los parámetros cercanos a 1, de límite de nivel del agua al acuífero para flujo base (GWQMN) y el número de curva de escorrentía para condiciones de humedad (CN2). Por otro lado, los parámetros de, factor alfa de flujo base para almacenamiento bancario (ALPHA_BNK) y el factor de compensación de la evaporación del suelo (ESCO), presentan los mayores valores absolutos por lo que tienden a ser parámetros muy sensibles.

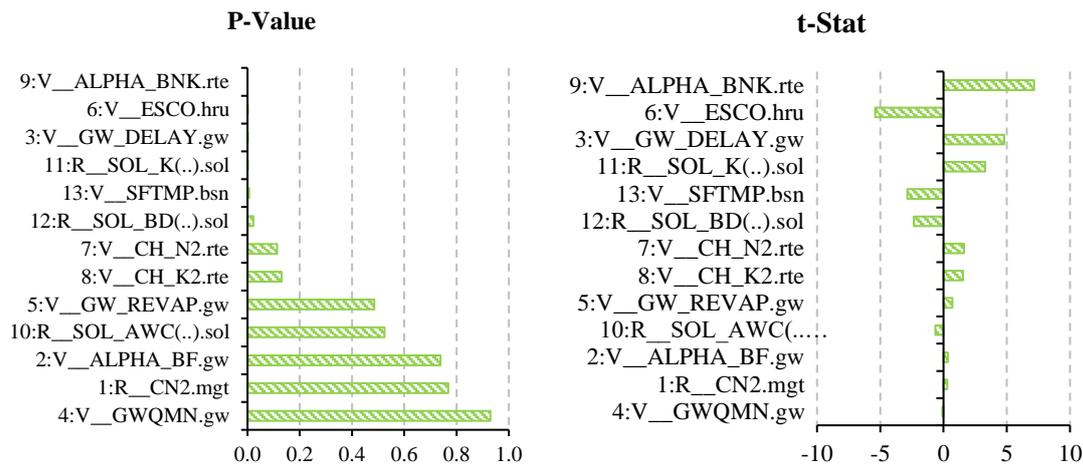


Fig. 35. Evaluación de parámetros sensibles.

3.7. Calibración y Validación

Ejecutado el análisis de sensibilidad se procedió a calibrar el modelo. La calibración, consistió en modificar de manera iterativa los parámetros de entradas sensibles, para que pueda existir concordancia entre valores observados y simulados. Para ello, se clasificó en dos grupos la data de descargas observados diariamente, de manera que el primer grupo sea utilizado para la calibración, durante periodos de 1/1/2000-31/12/2005; y el segundo para validación durante periodos del 1/1/2006-31/12/2012. La validación se realizó sin modificar los valores de los parámetros, con fines de verificación de la capacidad del modelo para simular descargas.

Para calibrar el parámetro CN2 en la estimación de escorrentía superficial, se utilizaron los resultados de investigación desarrollado por la Autoridad Nacional del Agua del Perú basados en el método del SCS. Tales valores han sido estimados en base al uso de suelo, tipo y condición de humedad a nivel nacional, sin embargo, era necesario ajustar al área de estudio de la cuenca, promediando los valores mínimos y máximos para cada subcuenca, respecto del total de área. Los valores de CN se editaron dentro del modelo de SWAT para cada subcuenca.

Para comparar y evaluar la capacidad de los resultados de simulación del SWAT, se utilizaron flujogramas, índices estadísticos [41] y análisis gráficos; basados en descargas simuladas y observadas. Los índices estadísticos utilizados para la calibración y validación, se escogieron en base a la revisión de literatura y sugerencias.

El primero es el Coeficiente de correlación de Pearson (R), mencionado anteriormente de manera previa a la fase de simulaciones. La fórmula que utiliza es la siguiente:

$$R = \frac{\sum_{i=1}^n (Q_i^{observ} - Q_m^{observ})(Q_i^{simul} - Q_m^{simul})}{\sqrt{\sum_{i=1}^n (Q_i^{observ} - Q_m^{observ})^2} \sqrt{\sum_{i=1}^n (Q_i^{simul} - Q_m^{simul})^2}}$$

Donde Q_i^{observ} son los valores de datos observados, Q_i^{simul} son los valores de datos simulados, Q_m^{observ} es el valor medio de la data observada, Q_m^{simul} es el valor medio de la data de simulación y n viene a ser el número total de observaciones.

El segundo es la relación de desviación estándar de las observaciones (RSR), el cual debe presentarse desde valores de 0 a 0.7. RSR viene a ser la relación de la raíz cuadrática medio (RMSE) y la desviación estándar de los datos observados.

$$RSR = \frac{RMSE}{STDEV_{observados}} = \frac{\sqrt{\sum_{i=1}^n (Q_i^{observ} - Q_m^{simul})^2}}{\sqrt{\sum_{i=1}^n (Q_i^{observ} - Q_m^{observ})^2}}$$

El tercero es la eficiencia de Nash-Sutcliffe (NS), del cual los valores aceptables oscilan entre 0.41 a 1. NS determina la magnitud relativa de la varianza residual en comparación con la varianza de datos medidos.

$$NS = 1 - \frac{\sum_{i=1}^n (Q_i^{observ} - Q_i^{simul})^2}{\sum_{i=1}^n (Q_i^{observ} - Q_m^{observ})^2}$$

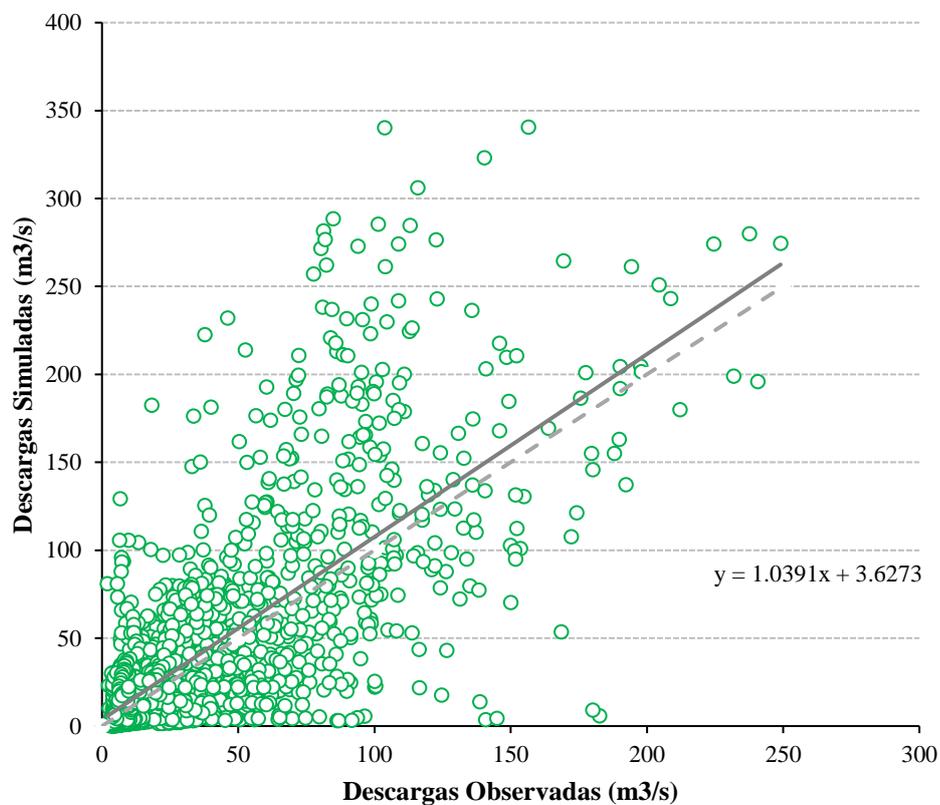
Por último, se considera como índice estadístico al sesgo porcentual (PBIAS), del cual los valores aceptables son los menores a ± 25 .

$$PBIAS = \frac{\sum_{i=1}^n (Q_i^{observ} - Q_i^{simul}) * 100}{\sum_{i=1}^n Q_i^{observ}}$$

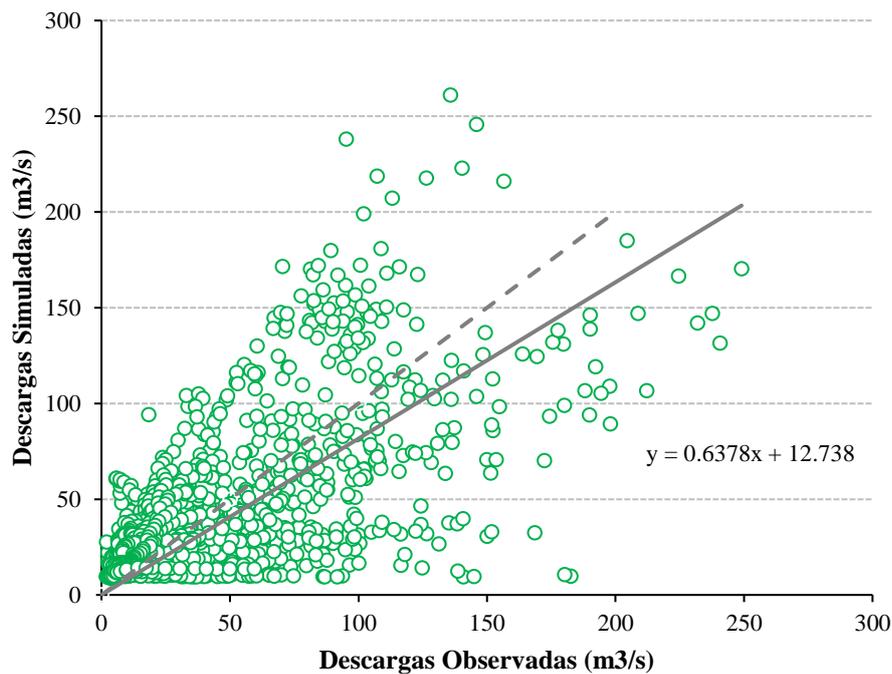
Se realizaron 3 iteraciones en total. La primera iteración se inició con 200 simulaciones, donde se observaron que los parámetros más sensibles sufrieron cambios de gran porcentaje; tales como CN2, el programa estableció de manera automática valores con potencial de escorrentía creciente (entre 80-90), sin embargo, el porcentaje de reducción requería del 18%. El siguiente parámetro más sensible ALPHA_BNK aumento su valor de 0 a 0.5 (días). De la segunda y tercera iteración se realizaron 500 y 1000 simulaciones respectivamente, con rangos de parámetros más reducidos para aminorar el tiempo de procesamiento. En general, los parámetros como el factor de recesión de flujo base (ALPHA_BF) aumento su valor en menos del 1%, sin embargo, el parámetro de mismo grupo de retraso de aguas subterráneas alcanzó el máximo valor del rango (500 días) pero no cambió en gran medida su tasa de variación. El coeficiente de “renovación” de agua subterránea (GW_REVAP) aumentó muy poco su valor en 16% respecto al automático, sin embargo, el GWQMN disminuyó considerablemente su valor en 98%.

El factor de compensación de evaporación del suelo (ESCO) no cambió en gran medida su valor, por lo que se entiende que el método que emplea el modelo es efectivo. Lo que respecta del valor “n” de Manning para el canal principal (CH_N2) la variación porcentual es significativa, pero lo es más aun el valor de conductividad hidráulica efectiva en el aluvión del canal principal (CH_K2) que varia de un valor 0 a 238.40 mm/hr. Del valor de capacidad de agua disponible de la primera capa de suelo (SOL_AWC1) disminuye sólo un 27.71%, mientras que la conductividad eléctrica hidráulica saturada del primer suelo (SOL_K1) la variación es despreciable. Por otro lado, la densidad aparente húmeda de la primera capa de suelo (SOL_BD) es el valor mínimo del rango automático de 0.9 mg/m3. Por último, el parámetro de temperatura de nevadas (SFTMP) de la cuenca cambiaron de valores negativos a positivos respecto del automático.

En la Fig. 36 se muestra la dispersión del flujo diario; observado y simulado antes y después de realizar la calibración. Los índices estadísticos obtenidos antes son: PBIAS=-17.4%, NS=-0.63 y RSR=1.28. Estos resultados no se encuentran del rango recomendado (NS y RSR). Después de realizarse la calibración se obtuvieron: PBIAS=-8.0%, NS=0.45 y RSR=0.69. En comparación con el calibrado, los índices estadísticos indican que ha mejorado, de no recomendado a un nivel aceptable, satisfactorio ($0.4 \leq NS \leq 0.5$ y $0.6 \leq RSR \leq 0.7$) y excelente ($PBIAS \leq \pm 10.0$), según los criterios de [42].



(a)



(b)

Fig. 36. Diagrama de dispersión de descargas en la fase de calibración: (a) dispersión de flujo diario antes y (b) dispersión de flujo diario después.

En la Fig. 37, se observa la transposición de hidrogramas de flujo observadas y simuladas para el periodo de calibración antes y después de realizarse la calibración. El hidrograma muestra mayor concordancia entre corrientes observadas y simuladas después de la calibración. Los valores de flujo antes sobreestimaban valores al observados en gran medida, sin embargo, después de la calibración se ajustaron en mayor porcentaje de los años. En algunos periodos la simulación SWAT pasa de sobreestimar a subestimar el flujo diario. El flujo de caudal promedio anual de los años calibrados disminuyó de 38.29 m³/s a 34.01 m³/s, lo cual es un valor bastante cercano al real observado (33.01 m³/s). Las razones de mejoría son por el ajuste de parámetros de CN2, GWQMN, GW_REVAP, CH_K2 y SOL_K (1); que fueron los que aumentaron valores de infiltración, el umbral de aguas pocas profundas, renovación, almacenamiento de agua, evapotranspiración muy aproximada y reducción de flujo de ríos.

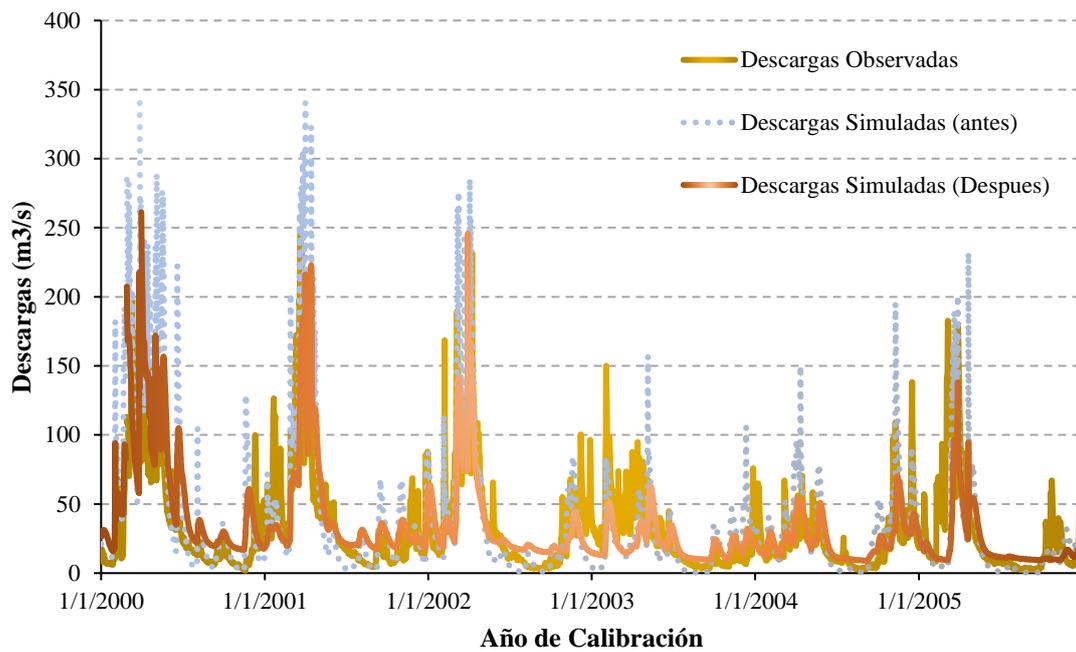


Fig. 37. Hidrogramas de descargas observadas y simuladas (antes y después) en la fase de calibración.

Por último, en la Fig. 38 se muestran los valores de dispersión de flujo diario, observados y simulados durante los años de validación y en la Fig. 39, los hidrogramas de flujo observados y simulados por la fase de validación (2006-2012). La validación de las simulaciones, demuestran que las simulaciones del flujo de descargas subestiman los valores observados en casi todo el periodo. Comparado con la fase de calibración, los resultados de simulación no presentan un buen comportamiento. Sin embargo, con el índice estadístico de correlación de Pearson ($R=0.51$) se verifica que se encuentra en un rango aceptable.

Para muchos investigadores, los valores simulados de la fase de validación; resultan tener un peor comportamiento con respecto a los observados y esto se debe al hecho de que, los ajustes de optimización se realizan solo al periodo de calibración. Por otro lado, los hidrogramas de la fase de validación muestran que el flujo base de los valores simulados sobrestiman los observados, mientras que para flujos picos se aproximan en

mayor medida. En base a este resultado, los caudales que se simulan con este tipo de modelo, podrían ser usados como referencia para calcular caudales máximos de descarga, debido a la alta similitud.

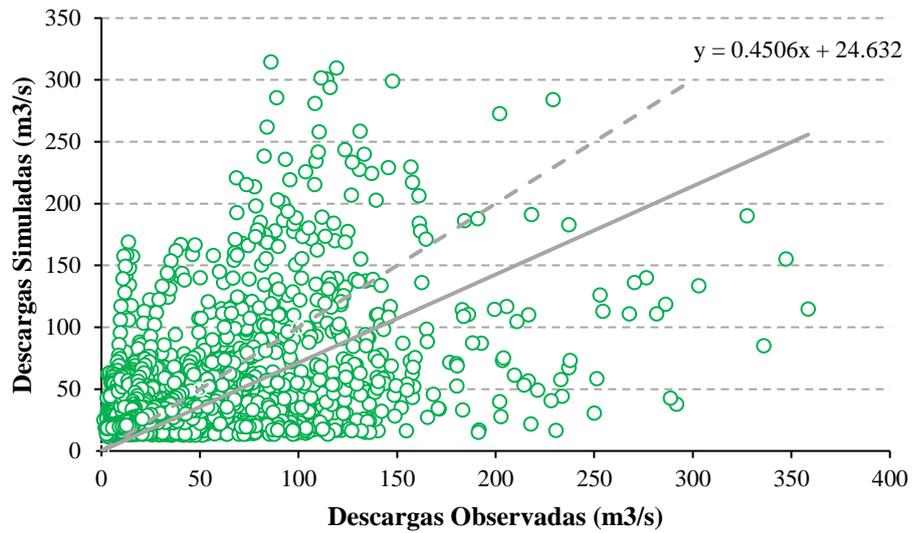


Fig. 38. Diagrama de dispersión de descargas observadas y simuladas en la fase de validación.

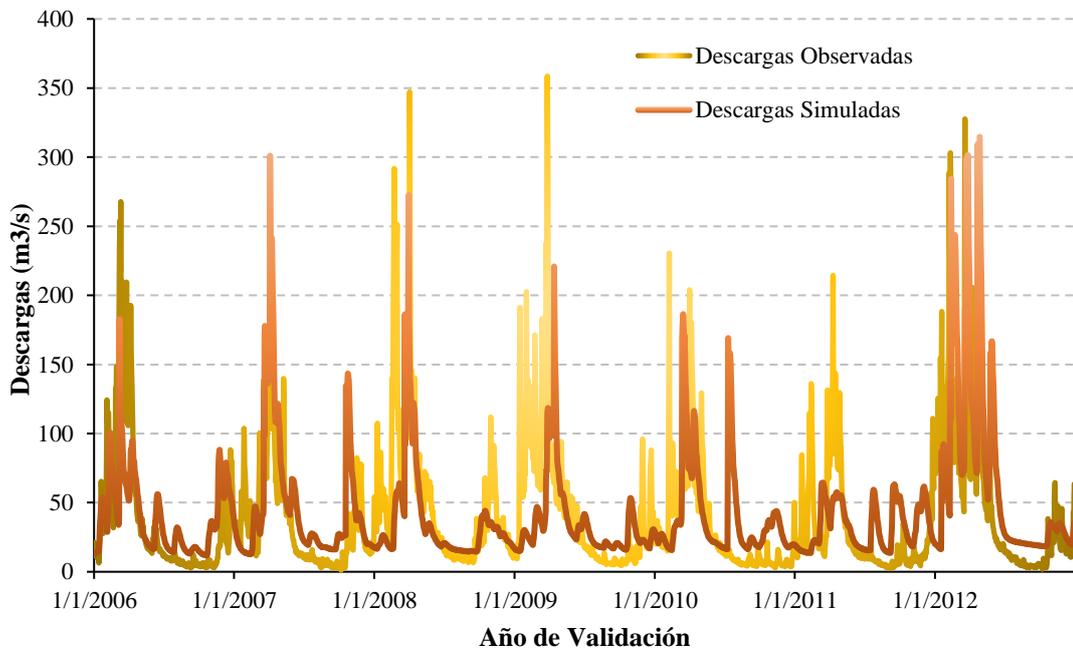


Fig. 39. Hidrogramas de descargas observadas y simuladas en la fase de validación.

3.8. Producción sedimentológica de la zona en estudio

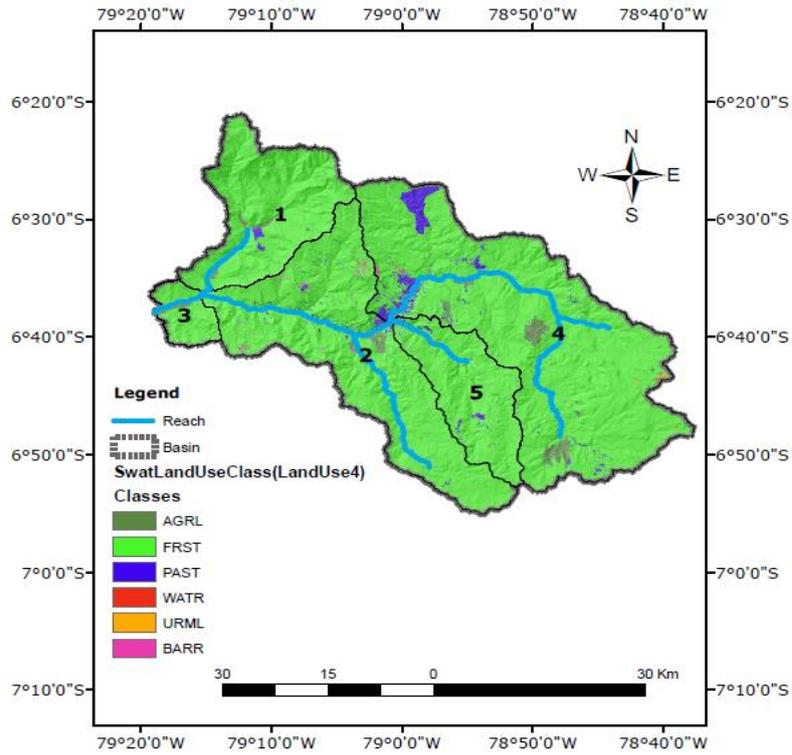
La estimación de producción de sedimentos, SWAT utiliza el MUSLE modificado. Cada respuesta hidrológica determina los factores base para el cálculo automático del sedimento por cada subcuenca, y con la aproximación ajustada en la fase de calibración; la estimación es de mayor importancia. Cada subcuenca presenta similares características; y a la vez muy variadas (Tabla IX) y esto debido a la generación de las 276 HRU's en toda la cuenca.

Tabla IX

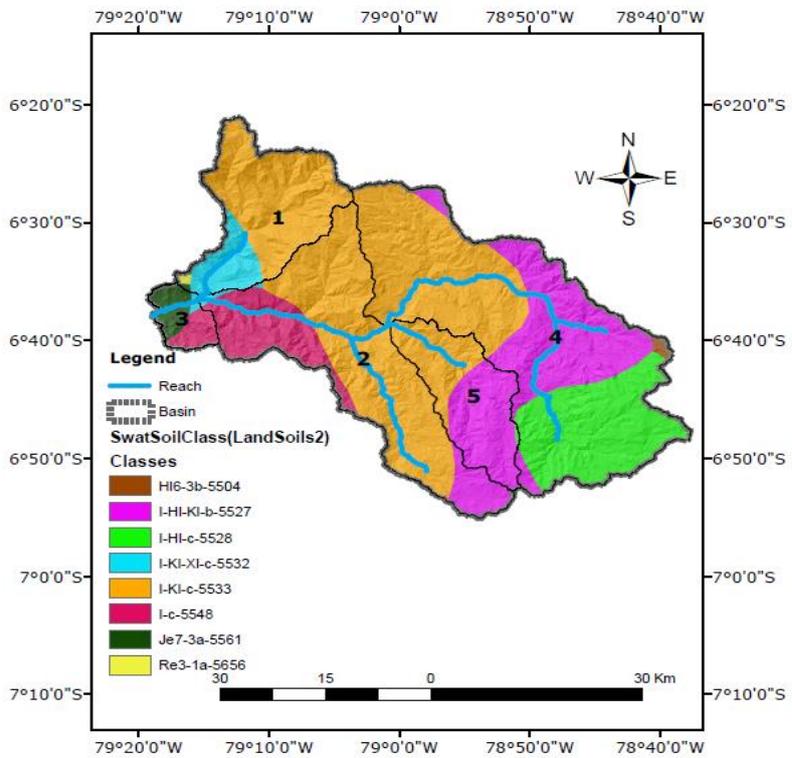
Características por uso de suelo, tipo de suelo y pendiente de cada subcuenca.

Subcuenca	Uso de Cobertura		Tipo de Suelo		Pendiente	
1	Tierra cultivada	846.13	I-K1-c	27500.09	0 - 10%	1106.11
	Forestal	34438.48	I-K1-X1-c	7537.27	10 - 20%	3053.39
	Pradera	297.34	Je7-3a	137.59	20 - 30%	5118.05
	Cuerpo de agua	3.28	Re3-1a	390.88	30 - 40%	5826.44
	Tierra desolada	14.05	I-c	33.45	<41%	20495.30
2	Tierra cultivada	663.77	I-c	15167.27	0 - 10%	3248.13
	Forestal	517.67	I-H1-K1-b	5382.67	10 - 20%	8770.13
	Tierra de arbustos	61821.61	I-K1-c	43170.86	20 - 30%	11651.95
	Pradera	1227.84	I-K1-X1-c	528.25	30 - 40%	11099.53
	Cuerpo de agua	18.16			<41%	29479.31
3	Tierra cultivada	471.141	I-c	2944.34	0 - 10%	835.84
	Forestal	6407.31	I-K1-X1-c	328.30	10 - 20%	850.53
			Je7-3a	3588.19	20 - 30%	1104.25
			Re3-1a	17.63	30 - 40%	1131.08
					<41%	2956.75
4	Tierra cultivada	2351.92	H16-3b	665.33	0 - 10%	8604.72
	Forestal	97349.39	I-H1-c	31165.36	10 - 20%	20573.20
	Pradera	4571.63	I-H1-K1-b	32854.94	20 - 30%	23563.11
	Cuerpo de agua	9.81	I-K1-c	40098.58	30 - 40%	19077.34
	Superficies artificiales	179.89			<41%	32965.83
	Tierra desolada	321.56				
5	Forestal	24399.95	I-H1-c	133.75	0 - 10%	1213.88
	Pradera	552.13	I-H1-K1-b	14429.70	10 - 20%	3481.23
	Cuerpo de agua	7.92	I-K1-c	10435.59	20 - 30%	5001.17
	Tierra desolada	39.05			30 - 40%	4777.69
				<41%	10525.08	

Nota: Los valores son los resultados posteriores a la calibración y validación



(a)



(b)

Fig. 40. Mapa de distribución: (a) uso de suelos, (b) tipo de suelos de la subcuenca.

De la investigación de los autores [42] se tomaron los rangos de clasificación para los niveles de erosión: ligera (5 t/ha/año), moderada (5-10 t/ha/año), alto (10-20 t/ha/año), muy alto (20-40 t/ha/año), severo (40-80 t/ha/año) y muy severo (80 t/ha/año)

En la Tabla X se presenta un resumen de la producción de sedimentos por cada subcuenca. De la cual, se ha trazado para mostrar el grado de significancia de los procesos hidrológicos principales para con cada extensión de subcuenca. Se observa, que las subcuencas con mayor rendimiento de sedimento por año (nivel muy alto y severo), son las que se encuentra a nivel de cabecera (SUBC-4 y SUBC-5), lo cual se refleja en los factores de lluvia y flujo de descargas anuales; sin embargo, la extensión de área no es determinante para acrecentar la evolución del sedimento. La SUBC-5 a pesar de presentar una menor superficie, el factor directo que conlleva a la alta producción de sedimento son las precipitaciones, mientras que la SUBC-4 la relación directa se da con el factor escorrentía. Por otro lado; la SUBC-2 y SUBC-1 presentan una ligera y moderada erosión; lo cual podría deberse a su ubicación (SUBC-1) en el margen lateral que no permite la afectación directa del curso del río principal y la longitud corta de río (SUBC-2).

Tabla X

Comparación de la cantidad de sedimentos, precipitación y escorrentía media anual.

Subcuenca	Superficie (km²)	Precipitación media anual (mm)	Escorrentía media anual (m³/s)	Pérdida media anual de suelo (Tn)	Rendimiento de Sedimentos (Ton/Ha/año)
SUBC-1	356	633.07	925.62	352129.10	9.891
SUBC-2	642	685.91	2010.80	99393.56	1.548
SUBC-3	69	566.68	103.33	53508.59	7.755
SUBC-4	1048	1210.3	9419.45	44998444.24	429.374
SUBC-5	250	1176.68	1806.42	749962.01	29.998

Nota: Datos fueron extraídos del software y procesados en hojas de cálculo

Respecto de la variación temporal mensual de la subcuenca (Fig. 41), se observa que en el mes de marzo se da la ocurrencia de las máximas precipitaciones mensuales; además de presentarse la mayor producción de sedimentos en las subcuencas 4 y 5, los cuales presentan promedios mensuales de 36.65 y 2.56 tn/ha respectivamente. Por otro lado, los meses de junio a agosto, que son de estiaje existe menor producción de sedimentos. Las subcuencas 2, 3 y 1 son las que presentan menor producción de sedimentos con 0.13, 0.66 y 0.85 tn/ha promedio mensual, siendo el mes de abril (subcuenca 2 y 3) y febrero los picos más alto (0.36, 1.89 y 3.91 tn/ha).

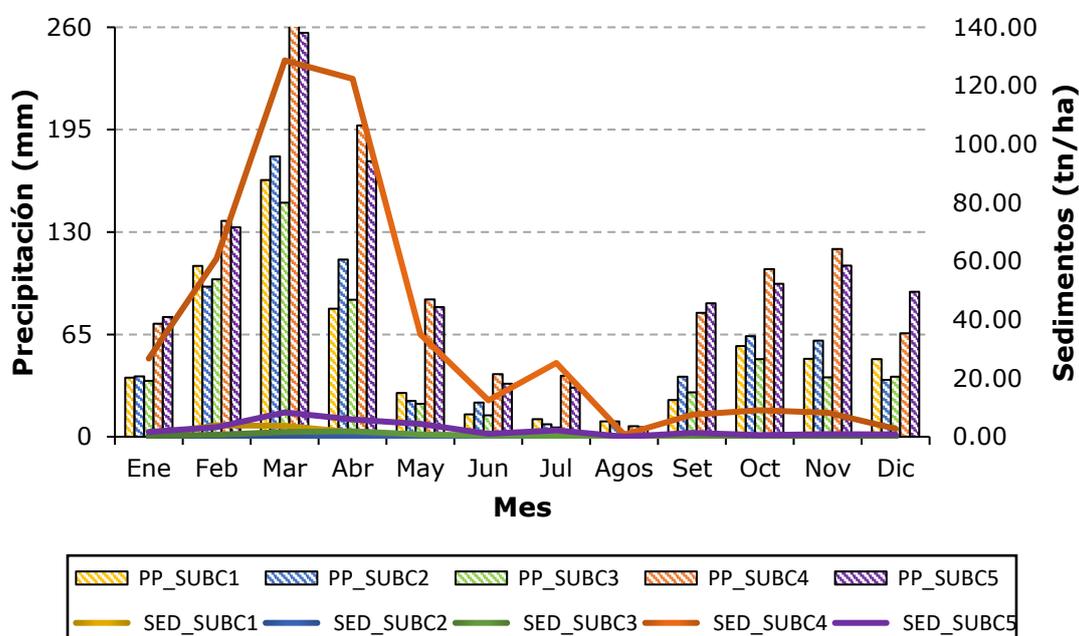


Fig. 41. Comparación del rendimiento de sedimentos y precipitación media mensual por subcuencas.

Por otro lado, comparando con la Fig. 41 se puede distinguir la influencia del tipo y uso de suelo en el rendimiento de sedimentos. En las subcuencas de cabeceras 4 y 5; que presentan mayor rendimiento erosivo, la composición de bosques secos, xerófitos y húmedos, podrían influir directamente en la capacidad de retención de sólidos en suspensión. Así también, es característico de la zona presentar una litología de sustrato de mala calidad; como la toba y aglomerado, donde la erosión de laderas es predominante.

Las pendientes pronunciadas (>40%) en la subcuenca, representan un factor importante en los índices de erosión especialmente en las zonas altas y medias de la subcuenca, que es de donde se acarrearán los sedimentos. La evolución de cárcavas tiende a desarrollarse más en zonas desprovistas de vegetación. Así también en las zonas bajas de la subcuenca; donde existen tierras de cultivo, la carga erosiva significaría un problema en la producción agrícola y por ende en la calidad del agua. Por último, en la subcuenca 3 la erosión hídrica provocaría un conflicto en la eficiencia con los equipos y estructuras hidráulicas del sistema de Tinajones.

IV. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

4.1. Conclusiones

Con las datas climáticas de PISCO, SENAMHI y CHRS – PERSIAN CCS CDR se lograron analizar la semejanza de información útil respecto de las precipitaciones y temperatura. Por otro lado, la data climática CFSR resultó necesaria para la completación de la información climatológica como radiación solar, velocidad de viento, humedad relativa que es necesaria para la creación del modelo SWAT.

Para la obtención de los mapas de cobertura vegetal y topográfico se optó por usar el método de teledetección con las herramientas del SIG; logrando incorporar al modelo imágenes satelitales de alta resolución como; GlobaLand30 (cobertura vegetal) y ALOS PALSAR (modelo de elevación) que demuestran ser eficientes en la delimitación de subcuencas comparado con la establecida a nivel nacional por el ANA. Así también se utilizó el mapa mundial de suelos de Sudamérica de la FAO/UNESCO para así generar finalmente 276 HRU's determinantes para la estimación de sedimentos.

Previo a la fase de calibración del modelo SWAT, del análisis de sensibilidad los parámetros más influyentes del P-Value; como GWQMN y CN2 aproximaron al modelo, en gran medida respecto de los procesos de escorrentía superficial. Por otro lado, los parámetros más sensibles como ESCO y ALPHA_BNK resultaron presentar mayor aproximación con los valores que se generan de manera automática, por lo que se puede decir que el modelo predice en gran medida los parámetros de evaporación y flujo base de almacenamiento. De la fase de calibración, los resultados antes simulados no se encontraban en los rangos aceptables, sin embargo, después de ajustar los parámetros sensibles (inicial) los cambios resultaron tener un mejor comportamiento, a partir de las 200 simulaciones. El ajuste final se concretó con tres iteraciones (última de 1000) consiguiendo los rangos aceptables, satisfactorio ($0.4 \leq NS \leq 0.5$ y $0.6 \leq RSR \leq 0.7$) y excelente ($PBIAS \leq \pm 10.0$) de los índices estadísticos. De la fase de validación, el comportamiento de

los valores simulados, disminuyeron su grado de similitud con los observados; sin embargo, con el índice de correlación de Pearson se observó que se encuentran dentro de un rango aceptable.

Del análisis de sedimentación por cada subcuenca, se obtuvieron que las subcuencas 4 y 5 son las que presentan mayor rendimiento de sedimentos mensual durante el mes de marzo con 36.65 y 2.56 tn/ha respectivamente, las cuales además se ubican a nivel de cabecera de la cuenca y que por tanto requieren de medidas de ingeniería para contrarrestar la carga erosiva. Por otro lado, las subcuencas 1, 2 y 3 presentan ligera y moderada producción de sedimentos con 0.36, 1.89 y 3.91 tn/ha en el mes de febrero.

4.2. Recomendaciones

Se recomienda para la obtención de los mapas topográficos, cobertura vegetal y tipo de suelo, la elección de los parámetros de entrada que presente mejores condiciones de resolución de datos, siempre y cuando la investigación tratada se requiera de mayor precisión y confiabilidad. De por sí, este tipo de investigación puede llegar a ser válido con la información científica en la web, sin embargo, puede llegar a ser aún más óptima con los servicios satelitales que demandan de un costo.

Para la fase previa a la calibración, se recomienda utilizar otros métodos para analizar la sensibilidad de las simulaciones, que pueden llegar a ser aún más eficientes que el "One-factor-At-a-Time", tales como Latin Hypercube.

De la fase de calibración, se recomienda usar el método Nash - Sutcliffe, debido a que puede llegar a precisar más con menor simulaciones los parámetros que requiere el modelo. Otro de las recomendaciones, sería utilizar el método R2, a pesar de presentar valores aún más exigentes.

Por último, se recomienda para realizar la estimación del sedimento en las cuencas, no sólo utilizar un método de predicción de sedimentos como el SWAT, sino además otros; como por ejemplo el modelo HydroBid que también utiliza series temporales de

precipitación y temperatura como parámetros de entrada, o también el modelo WEAP para la simulación de flujos de corriente de agua.

REFERENCIAS

- [1] S. Dutta y D. Sen, «Application of SWAT model for predicting soil erosion and sediment yield,» *Sustainable Water Resources Management*, vol. 4, nº 3, pp. 447-468, 2018.
- [2] A. Abebe, «Calibration, Validation and Performance Evaluation of Swat Model for Sediment Yield Modelling in Megech Reservoir Catchment, Ethiopia.,» *Journal of Environmental Geography*, vol. 12, nº 3/4, pp. 21-31, 2019.
- [3] B. Binod, S. Sangam, S. Pallav y T. Rocky, «Evaluation and application of a SWAT model to assess the climate change impact on the hydrology of the Himalayan River Basin.,» *CATENA*, vol. 181, nº 1, pp. 104082-104082, 2019.
- [4] Y. Hassen, A. Mohammed, A. Tena y M. Assefa, «Modeling of sediment yield in Maybar gauged watershed using SWAT, northeast Ethiopia.,» *CATENA*, vol. 127, nº 15, pp. 191-205, 2015.
- [5] J. Daramola, T. Ekhwan, J. Mokhtar, K. Lam y G. Adeogun, «Estimating sediment yield at Kaduna watershed, Nigeria using soil and water assessment tool (SWAT) model,» *Heliyon*, vol. 5, nº 7, pp. 1-8, 2019.
- [6] D. Costa, R. Avelino, S. Sára, L. Thomazini y M. Costa, «Application of the SWAT hydrologic model to a tropical watershed at Brazil,» *CATENA*, vol. 125, pp. 206-213, 2015.
- [7] M. Romagnoli, M. Portapila , A. Rigalli, G. Maydana, M. Burgués y C. García, «Assessment of the SWAT model to simulate a watershed with limited available data in the Pampas region, Argentina,» *Science of The Total Environment*, Vols. %1 de %2596-597, pp. 437-450, 2017.
- [8] J. Lamba , A. Thompson, K. Karthikeyan , J. Panuska y L. Good, «Effect of best management practice implementation on sediment and phosphorus load reductions at subwatershed and watershed scale using SWAT model,» *International Journal of Sediment Research*, vol. 31, nº 4, pp. 386-394, 2016.
- [9] G. Ricci, A. De Girolamo, O. Abdelwahab y F. Gentile, «Identifying sediment source areas in a Mediterranean watershed using the SWAT model.,» *Land Degradation & Development*, vol. 29, nº 4, pp. 1233-1248, 2018.
- [10] Z. Zhang, S. Chen, L. Wan, J. Cao, Q. Zhang y C. Yang , «The effects of landscape pattern evolution on runoff and sediment based on SWAT model.,» *Environmental Earth Sciences*, vol. 80, nº 1, pp. 1-16, 2021.
- [11] H. Briak, K. Aboumaria, R. Moussadek y R. Mrabet, «Assessing sediment yield in Kalaya gauged watershed (Northern Morocco) using GIS and SWAT model,» *International Soil and Water Conservation Research*, vol. 4, nº 3, pp. 177-185, 2016.
- [12] H. Syahdiba y A. Kusumandari, «Estimation of erosion using Soil and Water Assessment Tool (SWAT) model in Samin Sub-watershed, Karanganyar and

Sukoharjo Districts, Jawa Tengah,» *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, vol. 686, n° 1, pp. 1-10, 2021.

- [13] S. Pradhanang y M. Hasan, «Estimation of flow regime for a spatially varied Himalayan watershed using improved multi-site calibration of the Soil and Water Assessment Tool (SWAT) model.,» *Environmental Earth Sciences*, vol. 76, n° 23, pp. 1-13, 2017.
- [14] M. K. Salas Quispe, «Estimación De La Carga De Sedimentos En La Cuenca Del Rio Pitumarca Mediante El Uso Del Modelo Swat,» Lima, 2019.
- [15] S. Del Aguila Rios, «Modelamiento De Procesos Hidrológicos En Cuencas De La Sierra Central Del Perú,» Lima, 2021.
- [16] E. A. Valladares Martel, «Respuesta Hidrológica De La Cuenca Del Río Santa,» Lima, 2017.
- [17] K. Anoh, T. Koua, K. Kouamé, J. Kouamé y F. Laurent, «Modelling water flow in a complex watershed in humid a tropical area using SWAT: a case study of Taabo watershed in Ivory Coast.,» *International Journal of River Basin Management*, vol. 16, n° 2, pp. 157-167, 2018.
- [18] Y. Abbasi y C. Mannaerts, «Modeling pesticide and sediment transport in the Malewa River Basin (Kenya) using SWAT,» *Water (Switzerland)*, vol. 11, n° 1, pp. 1-20, 2019.
- [19] O. Vigiak , A. Malagò , F. Bouraoui , M. Vanmaercke , F. Obreja , J. Poesen , H. Habersack , J. Fehér y S. Grošelj , «Modelling sediment fluxes in the Danube River Basin with SWAT,» *Science of The Total Environment*, vol. 599–600, pp. 992-1012, 2017.
- [20] O. Vigiak , A. Malagò , F. Bouraoui , M. Vanmaercke y J. Poesen , «Adapting SWAT hillslope erosion model to predict sediment concentrations and yields in large Basins,» *Science of The Total Environment*, vol. 538, pp. 855-875, 2015.
- [21] F. Licciardello, A. Toscano, G. Cirelli , S. Consoli y S. Barbagallo, «Evaluation of Sediment Deposition in a Mediterranean Reservoir: Comparison of Long Term Bathymetric Measurements and SWAT Estimations.,» *Land Degradation & Development*, vol. 28, n° 2, pp. 566-578, 2017.
- [22] A. Mittelstet , D. Storm y M. White, «Using SWAT to enhance watershed-based plans to meet numeric water quality standards,» *Sustainability of Water Quality and Ecology*, vol. 7, pp. 5-21, 2016.
- [23] T. Negewo y A. Sarma, «Estimation of Water Yield under Baseline and Future Climate Change Scenarios in Genale Watershed, Genale Dawa River Basin, Ethiopia, Using SWAT Model.,» *Journal of Hydrologic Engineering*, vol. 26, n° 3, pp. 1-13, 2021.

- [24] H. Prasanchum , S. Phisnok y S. Thinubol, «Application of the SWAT Model for Evaluating Discharge and Sediment Yield in the Huay Luang Catchment, Northeast of Thailand,» *ASM Science Journal*, vol. 14, pp. 1-16, 2021.
- [25] C. Aybar, C. Fernández, A. Huerta, W. Lavado, F. Vega y O. Obando, «Construction of a high-resolution gridded rainfall dataset for Peru from 1981 to the present day,» *Hydrological Sciences Journal*, vol. 65, nº 5, pp. 770-785, 2019.
- [26] S. Fatorelli y P. C. Fernandez, *Diseño Hidrológico*, 2º ed., Zaragoza, 2011.
- [27] C. Guitiérrez Caiza, *Hidrología Basica y Aplicada*, Quito: Editorial Universitaria Abya-AYALA, 2014.
- [28] E. Valverde Gamboa, «Modelación Hidrológica Para Cuantificar La Producción De Agua Y Sedimento Actual Y Futuro A Partir De Cambios De Cobertura Forestal, Sector Prusia, Parque Nacional Volcán Irazú,» 2018.
- [29] A. F. Breña Puyol y M. A. Jacobo Villa, *Principios y Fundamentos de la Hidrologia Superficial*, Mexico, 2006.
- [30] A. K. Osuna Osuna , J. D. White , J. Anda, J. d. J. Díaz Torres y G. Dávila Vázquez , «Estimación De La Carga De Sedimentos En La Cuenca Del Río Tecolutla Utilizando El Modelo SWAT,» de *Congreso Iberoamericano sobre sedimentos y Ecología*, 2015.
- [31] K. B. Velásquez Castro, «Análisis De Los Potenciales Problemas De Sedimentación Y Medidas De Mitigación En La Presa Palo Redondo,» Lima, 2019.
- [32] J. A. González Verdugo, E. R. Salcedo Sánchez, M. J. Espinoza Ayala y M. Martínez Morales, «Datación de sedimentos recientes utilizando isótopos radioactivos en el río Verde, en el estado de Oaxaca, México.,» *Ingeniería*, vol. 19, nº 3, pp. 147-156, 2015.
- [33] E. Pérez González y P. García Rodríguez, «Aplicaciones De La Teledetección En Degradación De Suelos,» *Boletín de la Asociación de Geógrafos Españoles*, nº 61, pp. 285-308, 2013.
- [34] K. Gayathri , B. Ganasri y G. Dwarakish, «A Review on Hydrological Models,» *Aquatic Procedia*, vol. 4, pp. 1001-1007, 2015.
- [35] J. Cabrera, «Modelos Hidrológicos,» Universidad Nacional de Ingeniería, 2015.
- [36] A. G. Barrios y L. A. Urribarri, «Revista Geográfica Venezolana,» *Aplicación del modelo swaT en los Andes venezolanos: Cuenca alta del río Chama*, vol. 51, nº 1, pp. 11-29, 2010.
- [37] R. Hernandez, C. Fernandez y P. Baptista, *Metodología de la Investigación*, sexta edicion ed., Mexico: Mc Graw Hill, 2014.
- [38] Instituto geografico nacional , «Infraestructura de datos espaciales,» [En línea]. Available: <http://www.idep.gob.pe>.

- [39] Ministerio del Ambiente, «SENAMHI: Datos meteorologicos,» [En línea]. Available: <https://www.senamhi.gob.pe/?p=estaciones>. [Último acceso: 2023].
- [40] Ministerio del Ambiente, «GEO GPS PERU,» [En línea]. Available: <https://www.geogpsperu.com/>.
- [41] Y. Hassen, A. Mohammed, A. Tena and M. Assefa, "Modeling of sediment yield in Maybar gauged watershed using SWAT, northeast Ethiopia.," *CATENA*, vol. 127, no. 15, pp. 191-205, 2015.
- [42] S. Dutta and D. Sen, "Application of SWAT model for predicting soil erosion and sediment yield," *Sustainable Water Resources Management*, vol. 4, no. 3, pp. 447-468, 2018.

ANEXOS

ANEXO 1: Autorización de datos históricos



GOBIERNO REGIONAL LAMBAYEQUE
PROYECTO ESPECIAL OLMOS TINAJONES
GERENCIA GENERAL



Firmado digitalmente por PIEDRA NUNEZ LUIS GERMAN FIR 42861213
hard
Unidad: GERENCIA GENERAL
Cargo: GERENTE GENERAL PEOT
Fecha y hora de proceso: 27/02/2023 - 18:12:58

Id seguridad: 7020901

Chiclayo 27 febrero 2023

OFICIO N° 000313-2023-GR.LAMB/PEOT-GG [4492673 - 4]

JHONATHAN BURGA CARRASCO
DNI 77434806
CEL: 945216924

ASUNTO: REMITO INFORMACION HIDROMETEOROLOGICA, SOLICITADA POR BACHILLER..

**REFERENCIA: A) INFORME 000055-2023-GR.LAMB/PEOT-80-GIAS [4492673-2]
B) SOLICITUD PRESENTADA POR SR. JHONATHAN BURGA CARRASCO [4492673-0]
C) INFORME N°008-2022-GR.LMB/PEOT-GG-81/CJLR [4492673-1]**

Es grato dirigirme a usted para saludarlo y en atención al documento de la referencia b), sobre la información solicitada por el Bachiller de Ingeniería Civil Sr. Jhonathan Burga Carrasco, la Gerencia de Operación y Mantenimiento con referencia a), remite según detalle:

- Caudales promedios diarios del Río Chancay; registrados en la Bocatoma Racarrumi; desde 1986 al 2016.
- Aforos (zona de Descarga): aforos realizados en el Canal de Descarga en el km 1+254; tener en cuenta que los aforos entre el 2009 y 2010 fueron realizados con un equipo manual llamado Rickly, y los aforos realizados en el 2017 son con equipo lastre y un sensor electromagnético OTT MF pro. Además, se alcanza gráficas de diagramas que describen los tirantes de agua, velocidades de flujo y caudales en cada sección.
- Caudales promedios diarios del Canal de Descarga; son los caudales que salen del Reservorio Tinajones desde el año 1993 al 2016.
- Registro de la Estación Meteorológica: datos enviados desde el año 2007 al 2016

Se indica que esta información, también ha sido enviada al solicitante en archivo Excel y PDF a los correos bcarrascojhonat@crece.uss.edu.pe; ybravogrecy@crece.uss.edu.pe., previa coordinación.

Es propicia la oportunidad para expresarle mi consideración y estima.

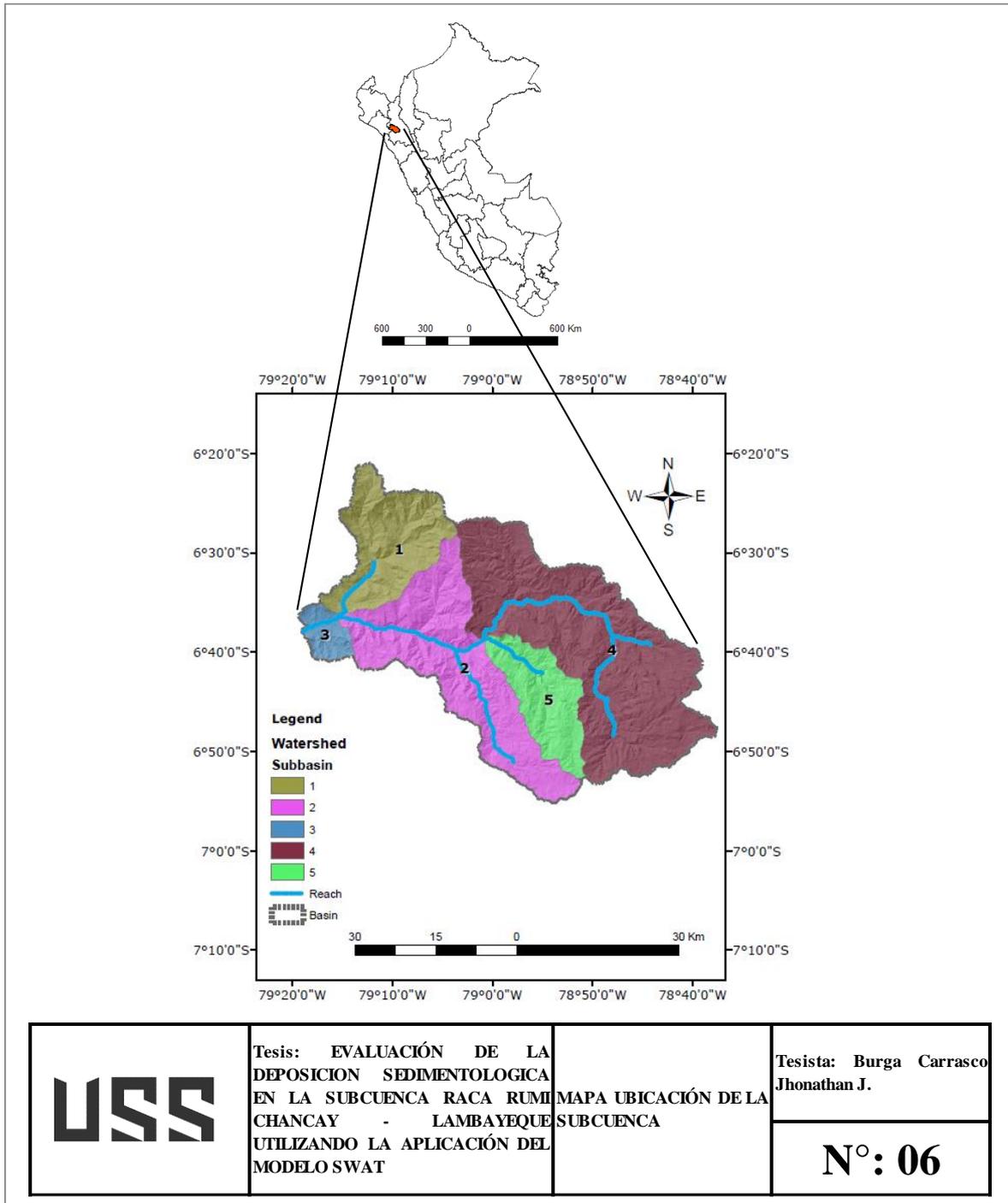
Atentamente

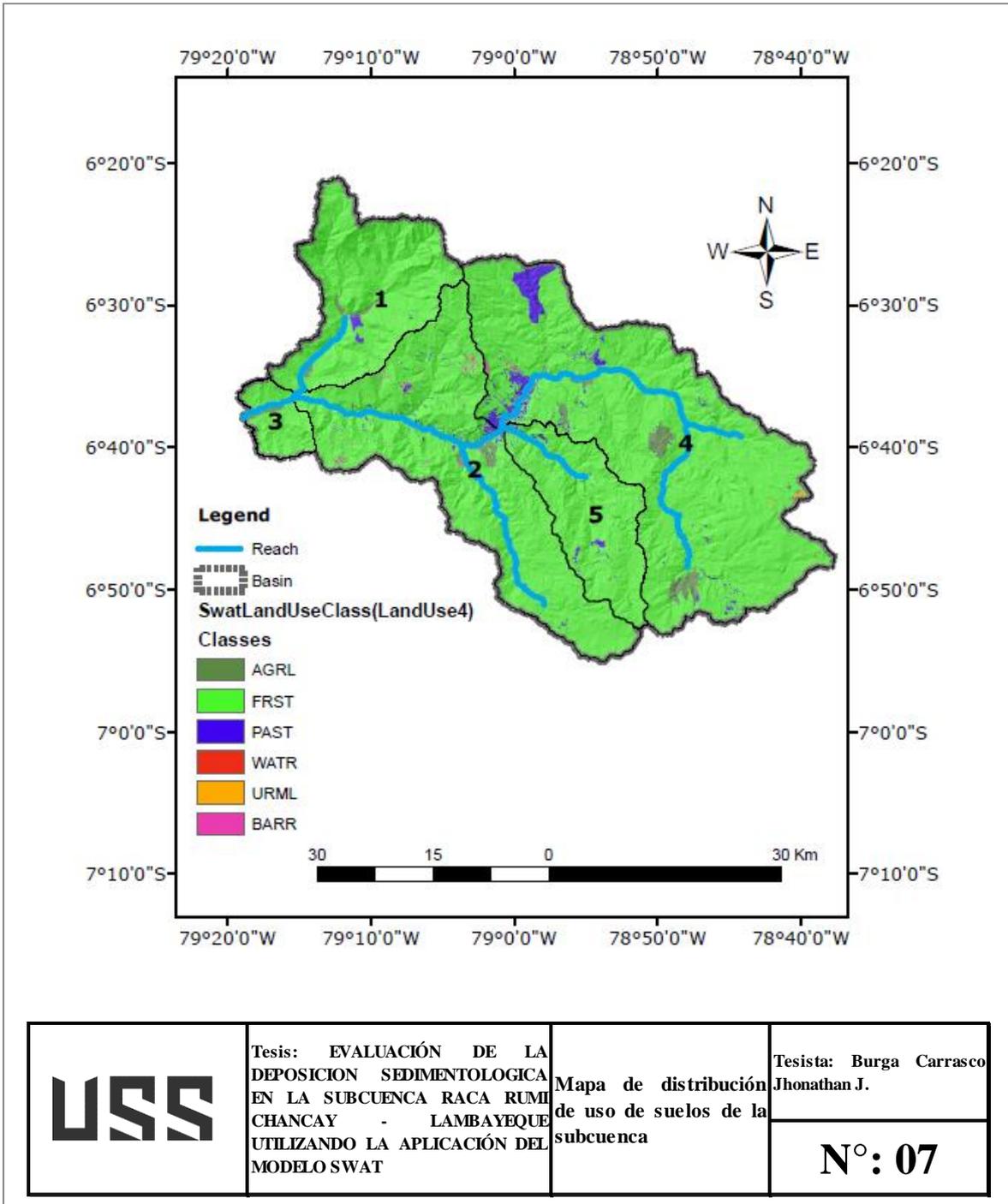
Firmado digitalmente
LUIS GERMAN PIEDRA NUÑEZ
GERENTE GENERAL PEOT
Fecha y hora de proceso: 27/02/2023 - 18:12:58

Esta es una copia auténtica imprimible de un documento electrónico archivado por Gobierno Regional Lambayeque, aplicando lo dispuesto por el Art. 25 de D.S. 070-2013-PCM y la Tercera Disposición Complementaria Final del D.S. 026-2016-PCM. Su autenticidad e integridad pueden ser contrastadas a través de la siguiente dirección web: <https://sisgado3.regionlambayeque.gob.pe/verifica/>

VoBo electrónico de:
- GERENCIA DE OPERACIONES Y MANTENIMIENTO
ROGGER ALAMO VALDERA
GERENTE DE OPERACIÓN Y MANTENIMIENTO DEL SISTEMA TINAJONES
2023-02-27 10:40:58-05

ANEXO 2: Mapas de ubicación, uso de suelo, tipo de suelo y pendientes.



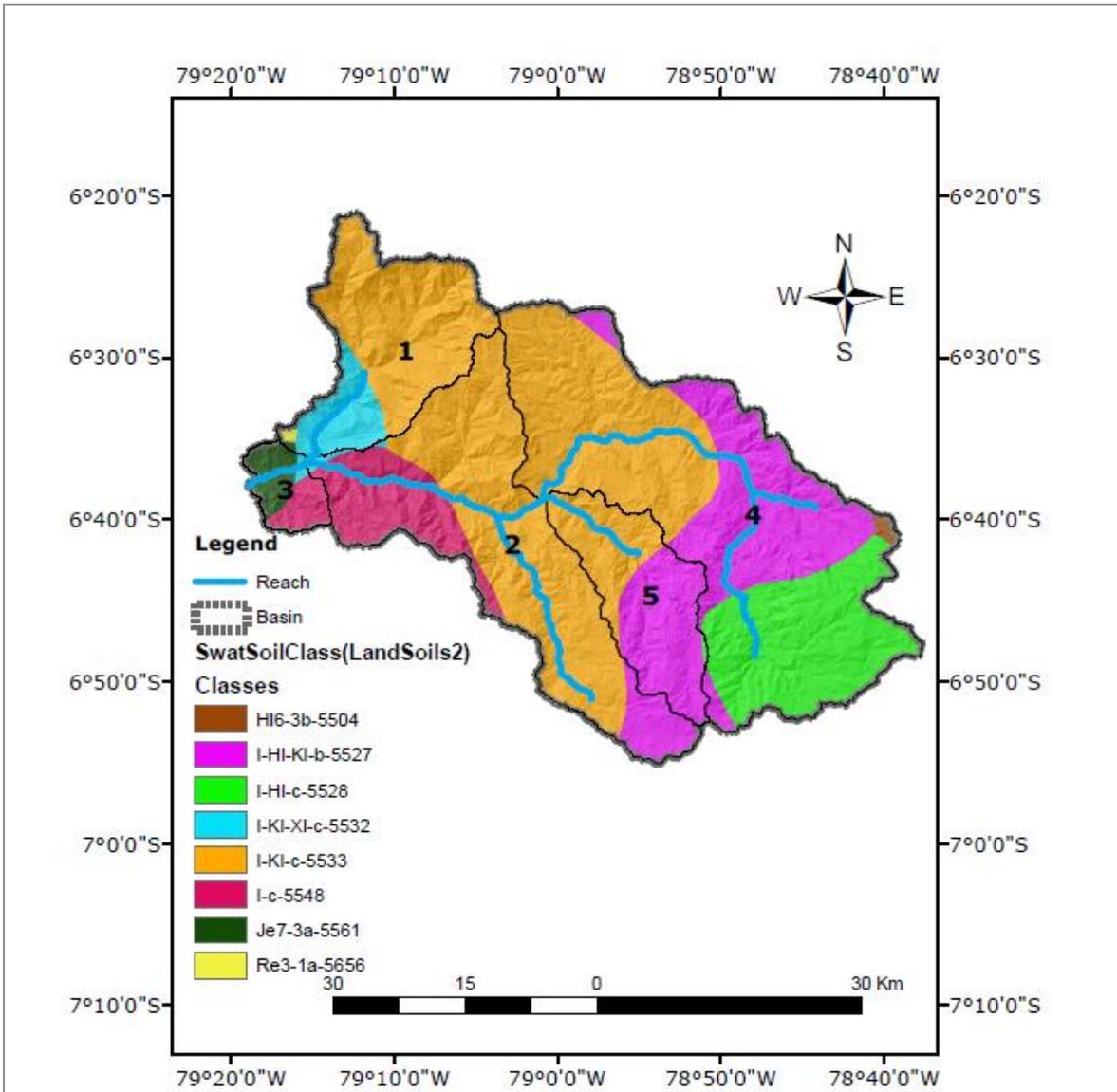


Tesis: EVALUACIÓN DE LA DEPOSICION SEDIMENTOLOGICA EN LA SUBCUENCA RACA RUMI CHANCAY - LAMBAYEQUE UTILIZANDO LA APLICACION DEL MODELO SWAT

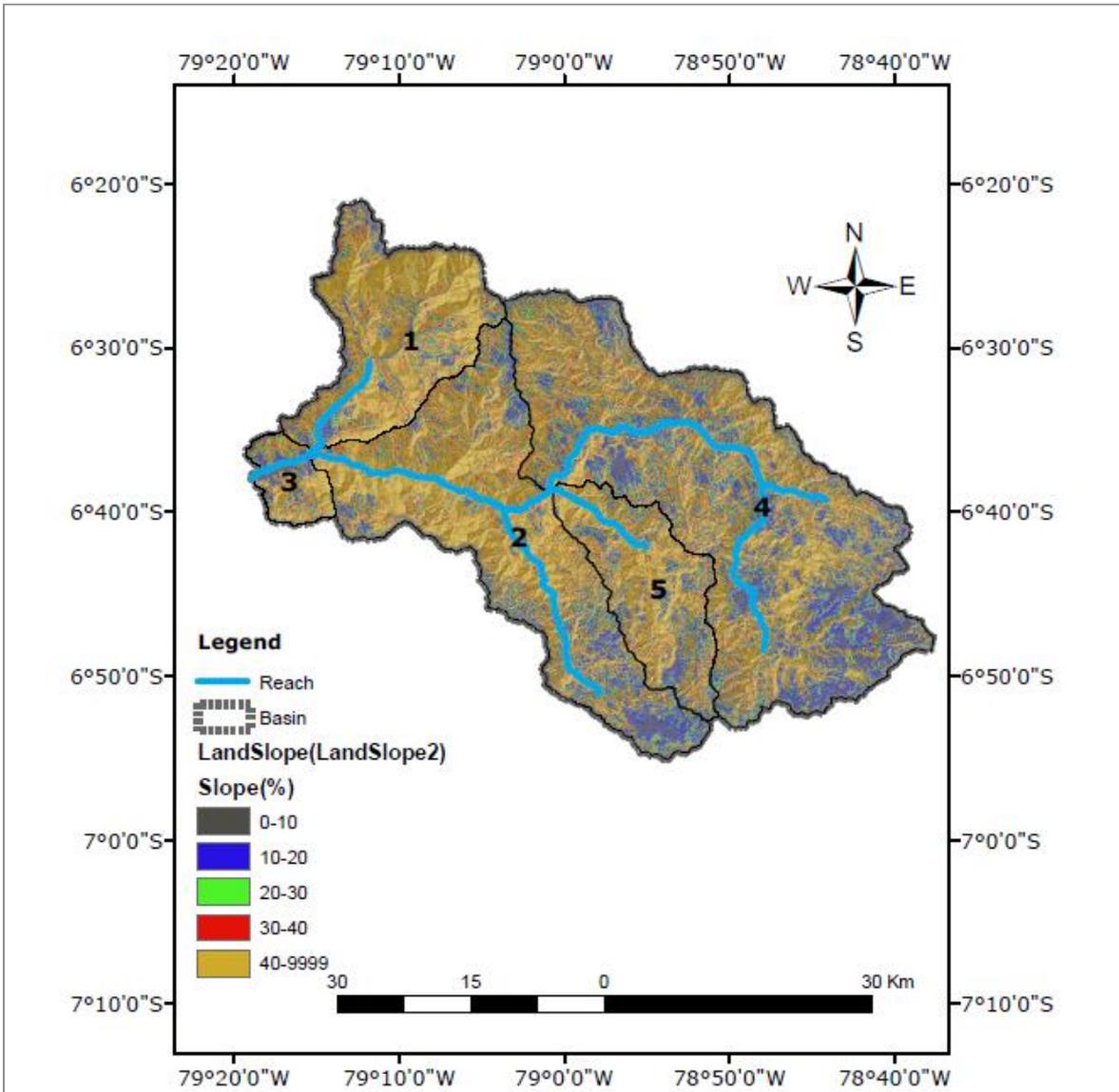
Mapa de distribución de uso de suelos de la subcuenca

Tesista: Burga Carrasco Jhonathan J.

Nº: 07



	<p>Tesis: EVALUACIÓN DE LA DEPOSICION SEDIMENTOLOGICA EN LA SUBCUENCA RACA RUMI CHANCAY - LAMBAYEQUE UTILIZANDO LA APLICACIÓN DEL MODELO SWAT</p>	<p>Mapa de distribución de tipo de suelos de la subcuenca</p>	<p>Tesista: Burga Carrasco Jhonathan J.</p>
			<p>N°: 08</p>



	<p>Tesis: EVALUACIÓN DE LA DEPOSICION SEDIMENTOLOGICA EN LA SUBCUENCA RACA RUMI CHANCAY - LAMBAYEQUE UTILIZANDO LA APLICACIÓN DEL MODELO SWAT</p>	<p>Mapa de variación de pendientes de la subcuenca</p>	<p>Tesista: Burga Carrasco Jhonathan J.</p>
	<p>N°: 09</p>		

ANEXO 3: Datos climatológicos de la Data Climática mundial CFSR de SWAT

SUBBASIN	STATION	LATITUDE	LONGITUDE	ELEV	RAIN_YRS	TMPMX1	TMPMX2	TMPMX3	TMPMX4	TMPMX5	TMPMX6	TMPMX7	TMPMX8	TMPMX9	TMPMX10	TMPMX11	TMPMX12
1	64s791w	-6.40	-79.06	2622	32.00	21.33	20.70	20.34	20.83	21.90	22.14	22.35	23.55	24.08	23.34	22.10	21.64
2	67s791w	-6.71	-79.06	2120	32.00	20.63	20.28	20.10	20.66	21.86	22.37	22.72	23.69	23.90	22.85	21.35	20.97
3	67s794w	-6.71	-79.38	292	32.00	27.78	28.40	28.28	27.91	28.02	27.99	28.04	28.61	28.80	28.35	27.46	27.41
4	67s788w	-6.71	-78.75	3469	32.00	15.38	13.00	11.81	12.55	13.95	14.68	15.24	16.46	16.68	15.66	14.17	15.29
5	67s791w	-6.71	-79.06	2120	32.00	20.63	20.28	20.10	20.66	21.86	22.37	22.72	23.69	23.90	22.85	21.35	20.97

SUBBASIN	STATION	LATITUDE	LONGITUDE	ELEV	TMPMN1	TMPMN2	TMPMN3	TMPMN4	TMPMN5	TMPMN6	TMPMN7	TMPMN8	TMPMN9	TMPMN10	TMPMN11	TMPMN12
1	64s791w	-6.40	-79.06	2622	11.55	10.59	10.15	10.37	10.28	9.89	9.48	9.77	10.02	10.11	9.87	11.32
2	67s791w	-6.71	-79.06	2120	12.42	12.61	12.73	12.85	12.72	12.38	11.90	11.97	11.90	12.02	11.80	12.14
3	67s794w	-6.71	-79.38	292	18.07	19.10	19.46	19.00	18.05	17.21	16.36	15.83	15.39	15.57	15.97	17.08
4	67s788w	-6.71	-78.75	3469	7.38	6.30	6.24	6.41	6.08	5.72	5.30	5.69	6.15	6.35	5.54	6.21
5	67s791w	-6.71	-79.06	2120	12.42	12.61	12.73	12.85	12.72	12.38	11.90	11.97	11.90	12.02	11.80	12.14

SUBBASIN	STATION	LATITUDE	LONGITUDE	ELEV	TMPSTDMX1	TMPSTDMX2	TMPSTDMX3	TMPSTDMX4	TMPSTDMX5	TMPSTDMX6	TMPSTDMX7	TMPSTDMX8	TMPSTDMX9	TMPSTDMX10	TMPSTDMX11	TMPSTDMX12
1	64s791w	-6.40	-79.06	2622	2.01	2.36	2.45	2.24	1.90	1.34	1.26	1.26	1.41	1.89	2.22	1.91
2	67s791w	-6.71	-79.06	2120	2.15	2.38	2.35	2.22	1.96	1.36	1.29	1.23	1.33	1.91	2.12	1.99
3	67s794w	-6.71	-79.38	292	1.73	2.04	2.09	1.84	1.69	1.29	1.27	1.24	1.18	1.45	1.69	1.66
4	67s788w	-6.71	-78.75	3469	2.45	4.33	5.12	5.38	5.69	5.23	5.22	5.35	5.45	5.14	5.48	3.49
5	67s791w	-6.71	-79.06	2120	2.15	2.38	2.35	2.22	1.96	1.36	1.29	1.23	1.33	1.91	2.12	1.99

SUBBASIN	STATION	LATITUDE	LONGITUDE	ELEV	TMPST DMN1	TMPST DMN2	TMPST DMN3	TMPST DMN4	TMPST DMN5	TMPST DMN6	TMPST DMN7	TMPST DMN8	TMPST DMN9	TMPST DMN10	TMPST DMN11	TMPST DMN12
1	64s791w	-6.40	-79.06	2622	1.17	2.98	3.67	3.80	3.67	3.24	2.92	3.02	3.15	3.35	3.48	1.82
2	67s791w	-6.71	-79.06	2120	1.37	1.33	1.49	1.43	1.52	1.53	1.56	1.60	1.60	1.48	1.71	1.48
3	67s794w	-6.71	-79.38	292	1.51	1.29	1.15	1.11	1.22	1.26	1.55	1.40	1.14	1.49	2.03	1.70
4	67s788w	-6.71	-78.75	3469	1.61	3.08	3.26	3.28	3.14	2.71	2.47	2.58	2.75	2.90	3.69	2.74
5	67s791w	-6.71	-79.06	2120	1.37	1.33	1.49	1.43	1.52	1.53	1.56	1.60	1.60	1.48	1.71	1.48

SUBBASIN	STATION	LATITUDE	LONGITUDE	ELEV	PCPM M1	PCPM M2	PCPM M3	PCPM M4	PCPM M5	PCPM M6	PCPM M7	PCPM M8	PCPM M9	PCPM M10	PCPM M11	PCPM M12
1	64s791w	-6.40	-79.06	2622	33.84	76.22	130.27	95.96	24.82	3.61	0.53	0.49	3.07	24.72	48.49	41.87
2	67s791w	-6.71	-79.06	2120	79.58	138.37	207.98	153.86	39.70	4.99	0.82	0.46	5.38	35.30	65.43	72.17
3	67s794w	-6.71	-79.38	292	10.73	26.55	53.26	35.27	7.48	0.76	0.10	0.02	0.25	4.02	9.53	11.10
4	67s788w	-6.71	-78.75	3469	177.89	247.26	350.15	294.14	139.79	40.15	18.25	19.77	68.49	188.97	216.36	204.89
5	67s791w	-6.71	-79.06	2120	79.58	138.37	207.98	153.86	39.70	4.99	0.82	0.46	5.38	35.30	65.43	72.17

SUBBASIN	STATION	LATITUDE	LONGITUDE	ELEV	PCPS TD1	PCPS TD2	PCPS TD3	PCPS TD4	PCPS TD5	PCPS TD6	PCPS TD7	PCPS TD8	PCPS TD9	PCPST D10	PCPST D11	PCPST D12
1	64s791w	-6.40	-79.06	2622	2.80	5.07	7.13	6.10	2.88	1.12	0.27	0.21	0.74	2.79	4.36	3.62
2	67s791w	-6.71	-79.06	2120	4.74	7.35	10.22	9.00	3.91	1.16	0.35	0.25	1.15	3.35	5.16	5.39
3	67s794w	-6.71	-79.38	292	1.27	2.77	5.58	3.71	1.30	0.37	0.10	0.02	0.14	0.92	1.49	1.98
4	67s788w	-6.71	-78.75	3469	7.40	9.55	10.75	10.33	6.39	3.26	1.82	1.63	3.69	7.42	9.39	8.56

5	67s791w	-6.71	-79.06	2120	4.74	7.35	10.22	9.00	3.91	1.16	0.35	0.25	1.15	3.35	5.16	5.39
---	---------	-------	--------	------	------	------	-------	------	------	------	------	------	------	------	------	------

SUBBASIN	STATION	LATITUDE	LONGITUDE	ELEV	PCPS KW1	PCPS KW2	PCPS KW3	PCPS KW4	PCPS KW5	PCPS KW6	PCPS KW7	PCPS KW8	PCPS KW9	PCPSK W10	PCPSK W11	PCPSK W12
1	64s791w	-6.40	-79.06	2622	4.75	3.11	2.79	3.32	6.63	14.29	23.54	16.46	12.92	5.96	3.98	5.70
2	67s791w	-6.71	-79.06	2120	3.41	2.65	2.94	3.15	5.93	10.85	16.48	26.91	14.76	4.89	3.68	5.80
3	67s794w	-6.71	-79.38	292	5.80	4.82	7.23	5.13	8.71	21.18	31.50	31.50	22.94	10.51	6.72	12.35
4	67s788w	-6.71	-78.75	3469	2.00	1.72	1.33	1.60	2.17	5.28	5.13	3.99	2.84	1.92	1.80	2.20
5	67s791w	-6.71	-79.06	2120	3.41	2.65	2.94	3.15	5.93	10.85	16.48	26.91	14.76	4.89	3.68	5.80

SUBBASIN	STATION	LATITUDE	LONGITUDE	ELEV	PR_W 11	PR_W 12	PR_W 13	PR_W 14	PR_W 15	PR_W 16	PR_W 17	PR_W 18	PR_W 19	PR_W1 10	PR_W1 11	PR_W1 12
1	64s791w	-6.40	-79.06	2622.00	0.21	0.34	0.38	0.30	0.10	0.03	0.01	0.01	0.03	0.12	0.15	0.20
2	67s791w	-6.71	-79.06	2120.00	0.32	0.42	0.42	0.28	0.12	0.03	0.01	0.01	0.04	0.14	0.19	0.24
3	67s794w	-6.71	-79.38	292.00	0.09	0.15	0.17	0.12	0.04	0.01	0.00	0.00	0.00	0.03	0.06	0.08
4	67s788w	-6.71	-78.75	3469.00	0.46	0.55	0.58	0.56	0.36	0.23	0.12	0.14	0.32	0.43	0.32	0.37
5	67s791w	-6.71	-79.06	2120.00	0.32	0.42	0.42	0.28	0.12	0.03	0.01	0.01	0.04	0.14	0.19	0.24

SUBBASIN	STATION	LATITUDE	LONGITUDE	ELEV	PR_W 21	PR_W 22	PR_W 23	PR_W 24	PR_W 25	PR_W 26	PR_W 27	PR_W 28	PR_W 29	PR_W2 10	PR_W2 11	PR_W2 12
1	64s791w	-6.40	-79.06	2622.00	0.38	0.42	0.45	0.44	0.39	0.22	0.14	0.11	0.23	0.34	0.40	0.40
2	67s791w	-6.71	-79.06	2120.00	0.45	0.46	0.46	0.46	0.39	0.30	0.33	0.00	0.30	0.37	0.42	0.43

3	67s794w	-6.71	-79.38	292.0 0	0.32	0.38	0.37	0.35	0.36	0.25	0.00	0.00	0.20	0.29	0.29	0.32
4	67s788w	-6.71	-78.75	3469. 00	0.46	0.49	0.48	0.48	0.45	0.37	0.35	0.36	0.41	0.46	0.47	0.47
5	67s791w	-6.71	-79.06	2120. 00	0.45	0.46	0.46	0.46	0.39	0.30	0.33	0.00	0.30	0.37	0.42	0.43

SUBBASIN	STATION	LATITUDE	LONGITUDE	ELEV	PCPD 1	PCPD 2	PCPD 3	PCPD 4	PCPD 5	PCPD 6	PCPD 7	PCPD 8	PCPD 9	PCPD1 0	PCPD1 1	PCPD1 2
1	64s791w	-6.40	-79.06	2622.0 0	11.19	16.38	21.19	16.84	6.72	1.13	0.22	0.28	1.34	6.19	9.00	11.19
2	67s791w	-6.71	-79.06	2120.0 0	18.38	21.66	24.22	19.09	8.44	1.56	0.28	0.28	2.22	8.09	11.72	14.69
3	67s794w	-6.71	-79.38	292.00	4.41	7.00	9.19	6.72	2.31	0.25	0.03	0.03	0.16	1.50	2.66	3.53
4	67s788w	-6.71	-78.75	3469.0 0	24.53	25.94	29.00	27.06	21.13	10.75	6.50	7.63	15.50	23.13	21.75	23.28
5	67s791w	-6.71	-79.06	2120.0 0	18.38	21.66	24.22	19.09	8.44	1.56	0.28	0.28	2.22	8.09	11.72	14.69

SUBBASIN	STATION	LATITUDE	LONGITUDE	ELEV	RAINH HMX1	RAINH HMX2	RAINH HMX3	RAINH HMX4	RAINH HMX5	RAINH HMX6	RAINH HMX7	RAINH HMX8	RAINH HMX9	RAINHH MX10	RAINHH MX11	RAINHH MX12
1	64s791w	-6.40	-79.06	2622.0 2.00	10.80	12.62	17.84	18.26	13.30	7.82	2.69	1.51	5.17	10.38	12.97	18.05
2	67s791w	-6.71	-79.06	2120.0 0.00	13.29	18.24	31.68	28.54	18.44	5.92	2.44	2.64	9.11	11.71	14.31	24.70
3	67s794w	-6.71	-79.38	292.00	4.82	9.83	29.15	13.80	7.40	3.43	1.13	0.19	1.38	4.74	6.17	14.17
4	67s788w	-6.71	-78.75	3469.0 9.00	17.06	19.99	22.43	22.15	14.47	16.14	8.25	6.18	13.09	18.72	19.07	24.99
5	67s791w	-6.71	-79.06	2120.0 0.00	13.29	18.24	31.68	28.54	18.44	5.92	2.44	2.64	9.11	11.71	14.31	24.70

SUBB ASIN	STAT ION	LATIT UDE	LONGI TUD	ELE V	SOLAR AV1	SOLAR AV2	SOLAR AV3	SOLAR AV4	SOLAR AV5	SOLAR AV6	SOLAR AV7	SOLAR AV8	SOLAR AV9	SOLAR AV10	SOLAR AV11	SOLAR AV12
1	64s791w	-6.40	-79.06	2622.00	17.82	14.90	14.06	14.54	17.93	21.26	23.13	24.76	24.17	21.54	20.53	18.99
2	67s791w	-6.71	-79.06	2120.00	15.70	13.10	12.57	13.93	17.97	21.12	22.86	24.59	23.75	21.12	19.77	17.78
3	67s794w	-6.71	-79.38	292.00	23.25	20.41	19.50	20.39	22.03	22.49	23.40	25.48	27.19	26.99	25.60	24.66
4	67s788w	-6.71	-78.75	3469.00	12.83	10.50	10.26	11.36	14.86	17.86	20.11	22.12	20.32	17.43	16.67	14.35
5	67s791w	-6.71	-79.06	2120.00	15.70	13.10	12.57	13.93	17.97	21.12	22.86	24.59	23.75	21.12	19.77	17.78

SUBBASIN	STATION	LATITUDE	LONGITUDE	ELEV	DEWPT1	DEWPT2	DEWPT3	DEWPT4	DEWPT5	DEWPT6	DEWPT7	DEWPT8	DEWPT9	DEWPT10	DEWPT11	DEWPT12
1	64s791w	-6.40	-79.06	2622.00	0.71	0.76	0.78	0.77	0.71	0.66	0.63	0.60	0.63	0.67	0.68	0.70
2	67s791w	-6.71	-79.06	2120.00	0.74	0.76	0.77	0.76	0.69	0.61	0.57	0.56	0.60	0.66	0.68	0.72
3	67s794w	-6.71	-79.38	292.00	0.64	0.62	0.62	0.64	0.62	0.57	0.55	0.56	0.59	0.62	0.62	0.64
4	67s788w	-6.71	-78.75	3469.00	0.84	0.91	0.93	0.91	0.86	0.80	0.76	0.72	0.75	0.81	0.82	0.83
5	67s791w	-6.71	-79.06	2120.00	0.74	0.76	0.77	0.76	0.69	0.61	0.57	0.56	0.60	0.66	0.68	0.72

SUBBASIN	STATION	LATITUDE	LONGITUDE	ELEV	WNDA V1	WNDA V2	WNDA V3	WNDA V4	WNDA V5	WNDA V6	WNDA V7	WNDA V8	WNDA V9	WNDA V10	WNDA V11	WNDA V12
1	64s791w	-6.40	-79.06	2622.00	2.67	2.54	2.50	2.62	3.36	4.90	5.52	5.24	4.20	3.11	2.70	2.67
2	67s791w	-6.71	-79.06	2120.00	2.60	2.64	2.58	2.63	3.15	4.25	4.77	4.52	3.78	3.11	2.83	2.70
3	67s794w	-6.71	-79.38	292.00	2.83	2.72	2.59	2.62	2.62	2.63	2.76	2.86	2.92	2.94	2.89	2.86

4	67s788w	-6.71	-78.75	3469. 00	3.00	2.78	2.69	2.87	3.70	5.24	5.84	5.68	4.75	3.53	2.91	2.90
5	67s791w	-6.71	-79.06	2120. 00	2.60	2.64	2.58	2.63	3.15	4.25	4.77	4.52	3.78	3.11	2.83	2.70

Donde:

TMPMX1	Temperatura Máxima Promedio. 1 significa el mes de enero.
TMPMN1	Temperatura Mínima Promedio
TMPSTDMX1	Desviación Estándar de Máxima Temperatura
TMPSTDMN2	Desviación Estándar de Mínima Temperatura
PCPMM1	Precipitación Promedio Mensual
PCPSTD1	Desviación Estándar de Precipitación promedio
PCPSKW1	Coficiente de Skew para la Precipitación
PR_W11	Probabilidad de un día Húmedo seguido de un día Seco
PR_W21	Probabilidad de un día Seco seguido de un día Húmedo
PCPD1	Promedio de Número de Días con Precipitación en un mes
RAINHHMX1	Promedio de Precipitación Horaria Máxima
SOLARAV1	Promedio de Radiación Solar
DEWPT1	Promedio de Temperaturas Diarias de Punto de Rocío
WNDV1	Promedio de Viento Mensual

ANEXO 4: Parámetros morfométricos.

Río o Reach

Subbasin	SubbasinR	AreaC	Len2	Slo2	Wid2	Dep2	MinEI	MaxEI
1	3	35599.28	15489.05	2.58	43.80	1.36	363	762
2	3	194032.30	32607.09	8.29	121.15	2.69	363	3066
3	0	236510.03	8714.61	0.96	136.43	2.91	279	363
4	2	104784.20	62180.29	2.66	83.71	2.10	1095	2750
5	2	24999.05	14444.23	3.97	35.43	1.18	1095	1669

Cuenca o Watershed

Subbasin	Area	Slo1	Len1	SII	Csl	Wid1	Dep1	Lat	Long_	Elev	ElevMin	ElevMax
1	35599.28	50.12	38713.33	15.24	9.64	43.80	1.36	-6.48	-79.17	1923.84	363	4100
2	64249.05	42.47	72662.14	15.24	4.57	62.42	1.73	-6.69	-79.06	2239.91	363	3822
3	6878.45	39.55	14131.13	15.24	10.18	16.33	0.71	-6.64	-79.28	669.08	278	1731
4	104784.20	33.84	87417.66	15.24	3.47	83.71	2.10	-6.66	-78.84	2637.77	1093	4127
5	24999.05	40.30	40997.75	15.24	6.31	35.43	1.18	-6.74	-78.91	2656.40	1093	3832

Donde:

Subbasin	Subcuenca
SubbasinR	Código de rejilla de subcuenca que el alcance comienza
AreaC	Superficie Drenaje acumulada (Ha)
Len2	Longitud del Alcance de corriente (m)
Slo2	Pendiente del Alcance de corriente (%)
Wid2	Ancho de alcance corriente (m)
Dep2	Profundidad de Alcance corriente (m)
MinEl	Elev. Min de alcance de arroyo (m)
MaxEl	Elev. Máx de alcance de arroyo (m)
Slo1	Pendiente de subcuenca (%)
Len1	Camino más largo dentro de la subcuenca (m)
Sll	Longitud de la pendiente del campo(m)
Csl	Pendiente del tramo tributario de la subcuenca (%)
Wid1	Ancho de tramo tributario de la subcuenca (m)
Dep1	Profundidad de alcance del afluente de la subcuenca (m)

ANEXO 5: Producción de sedimentos por subcuenca obtenido del modelo SWAT en (TN/Ha/año)

	SUBC - 1	SUBC - 2	SUBC - 3	SUBC - 4	SUBC - 5
2000					
Jan	0.0156	0.212693	1.345E-10	6.752	0.1181
Feb	37.17	11.2163	16.300002	80.630702	4.27661
Mar	0.335692	3.212913	1.098	327.544	4.0154984
Apr	1.42	3.6078	2.0363208	113.88644	5.1939562
May	0.0703894	0.4532222	1.345E-10	170.31644	27.009268
Jun	1.9642406	1.03	1.41E-05	69.861	3.843213
Jul	4.433E-11	2.784E-11	1.345E-10	2.12E-11	0.42
Aug	0.185	10.8	1.345E-10	0.78	1.84E-05
Sep	4.29E-11	2.18286	1.302E-10	7.6395728	0.2720238
Oct	4.433E-11	2.784E-11	1.345E-10	2.12E-11	4.836E-11
Nov	4.29E-11	0.0205	1.302E-10	15.009	0.474988
Dec	4.433E-11	0.00213	0.000145	0.6620233	0.188
2001					
Jan	4.433E-11	1.1546	1.345E-10	25.036958	2.001638
Feb	0.695008	2.00351	1.84	136.36724	2.560445
Mar	3.3740181	9.3639	1.2982489	145.4262	6.036046
Apr	0.4411	14.5855	1.7600154	158.558	4.316405
May	0.151	2.784E-11	1.345E-10	7.7731	0.0037894
Jun	4.29E-11	2.694E-11	1.302E-10	2.052E-11	4.68E-11
Jul	4.433E-11	2.784E-11	1.345E-10	15.38	0.000551
Aug	4.433E-11	2.784E-11	1.345E-10	2.12E-11	4.836E-11
Sep	0.009423	0.28702	1.302E-10	9.2655921	0.4348652
Oct	0.0034203	0.426	1.345E-10	5.7791005	1.8939801
Nov	0.007582	0.1978868	1.302E-10	1.776446	0.4592269
Dec	4.433E-11	2.784E-11	1.345E-10	5.1155743	0.929
2002					
Jan	4.433E-11	2.784E-11	1.345E-10	1.232	0.0004064
Feb	0.0749982	3.4673028	0.00426	18.16432	1.3440268
Mar	4.681677	8.05953	0.1397013	272.54334	13.3024
Apr	2.361	0.2129	0.1748657	27.07168	2.5874964
May	0.0182	0.00209	1.345E-10	0.0442	0.868
Jun	4.29E-11	2.694E-11	1.302E-10	9.246	0.3770863
Jul	4.433E-11	2.784E-11	1.345E-10	2.12E-11	4.836E-11
Aug	4.433E-11	2.784E-11	1.345E-10	6.66	0.345
Sep	4.5E-07	2.694E-11	1.302E-10	3.27	4.68E-11
Oct	0.0057936	0.0275	1.345E-10	0.3761466	0.0226111
Nov	0.038955	0.95111	1.302E-10	6.1492543	0.23418
Dec	4.433E-11	2.784E-11	1.345E-10	0.0001646	0.139
2003					

Jan	0.0091656	0.368	1.345E-10	25.575064	4.1223969
Feb	0.1995	0.000207	1.215E-10	1.09231	0.459269
Mar	0.26	0.000531	1.345E-10	4.2712037	0.6463087
Apr	4.29E-11	0.073592	1.302E-10	15.659	3.5896
May	4.433E-11	2.784E-11	1.345E-10	34.7	3.47
Jun	4.29E-11	0.0444957	1.302E-10	13.327	0.589953
Jul	4.433E-11	2.784E-11	1.345E-10	2.12E-11	4.836E-11
Aug	4.433E-11	2.784E-11	1.345E-10	2.12E-11	4.836E-11
Sep	4.29E-11	0.00704	1.302E-10	7.3600364	1.500269
Oct	1.25E-06	2.784E-11	1.345E-10	0.0115968	4.836E-11
Nov	3.87E-05	0.07377	1.302E-10	2.3344284	0.935
Dec	0.0682	2.2236	1.345E-10	1.2778212	2.13078
2004					
Jan	0.0006768	0.117	1.345E-10	25.079368	0.6330027
Feb	2.01E-06	0.8128869	1.259E-10	7.3451	1.31938
Mar	2.4829	2.50942	1.345E-10	33.529271	1.5357812
Apr	0.135	4.772	1.302E-10	8.0310141	0.2729146
May	4.433E-11	0.254	1.345E-10	11.542008	1.5676709
Jun	4.29E-11	2.694E-11	1.302E-10	2.052E-11	4.68E-11
Jul	4.433E-11	2.784E-11	1.345E-10	0.2567	0.0069098
Aug	4.433E-11	2.784E-11	1.345E-10	2.12E-11	4.836E-11
Sep	4.29E-11	0.392	1.302E-10	4.8470094	1.7340454
Oct	0.000757	1.31319	1.345E-10	3.4575124	0.5751335
Nov	0.0210013	1.13	1.302E-10	9.034869	2.0371466
Dec	0.999	0.124	0.0107	2.85499	1.4309218
2005					
Jan	2.513	2.784E-11	1.345E-10	1.36E-05	4.836E-11
Feb	4.004E-11	2.514E-11	1.215E-10	0.0917071	6.628E-05
Mar	4.1386175	6.642651	0.0306	42.88815	3.2589112
Apr	10.20209	0.30301	0.251551	20.60276	1.647421
May	4.433E-11	2.784E-11	1.345E-10	0.0012735	4.065E-08
Jun	4.29E-11	2.694E-11	1.302E-10	2.052E-11	4.68E-11
Jul	0.27258	2.784E-11	1.345E-10	1.28E-05	4.836E-11
Aug	4.433E-11	2.784E-11	1.345E-10	2.12E-11	4.836E-11
Sep	4.29E-11	2.694E-11	1.302E-10	0.0995159	2.23E-07
Oct	0.036	0.000173	1.345E-10	0.3259189	0.000434
Nov	0.00591	0.019	1.302E-10	2.225	0.0976
Dec	0.0361152	2.784E-11	1.345E-10	0.3414	0.4720067
2006					
Jan	4.433E-11	0.00442	0.0005	56.534069	3.6858935
Feb	0.1428171	1.2775808	0.5025873	57.145	2.4592295
Mar	1.98016	11.024691	0.069272	75.4561	2.8811712
Apr	1.092	1.865	1.302E-10	81.161	5.4451083
May	4.433E-11	2.784E-11	1.345E-10	1.84	0.0384

Jun	0.229	3.218	1.302E-10	49.923286	2.43
Jul	4.433E-11	2.784E-11	1.345E-10	16.8	1.15
Aug	4.433E-11	2.784E-11	1.345E-10	2.12E-11	4.836E-11
Sep	4.29E-11	2.694E-11	1.302E-10	2.087	0.5658808
Oct	0.00307	0.0466	1.345E-10	11.559707	0.8711865
Nov	0.0158183	0.6732	1.302E-10	20.697712	2.7341803
Dec	4.433E-11	0.075187	1.345E-10	14.972407	3.6943113
2007					
Jan	0.0001	2.784E-11	1.345E-10	0.0574	4.836E-11
Feb	3.224055	2.2705734	1.215E-10	17.788397	4.2551059
Mar	1.8945	6.8600082	0.222114	208.6068	12.323577
Apr	1.1158	10.454692	0.00628	199.6214	12.176566
May	0.671	0.009918	1.345E-10	58.791	5.76148
Jun	4.29E-11	2.694E-11	1.302E-10	0.438	0.000118
Jul	0.4310037	2.784E-11	1.345E-10	25.000231	1.77E-05
Aug	4.433E-11	2.784E-11	1.345E-10	0.6053	0.00611
Sep	0.0662	2.694E-11	1.302E-10	3.8300028	0.00993
Oct	0.001628	0.281894	1.345E-10	68.680609	0.2351014
Nov	4.29E-11	0.0906	1.302E-10	6.6118007	0.3905136
Dec	0.00018	0.0149	1.345E-10	0.470797	1.687E-05
2008					
Jan	0.0029828	0.003263	1.345E-10	11.1089	0.4685521
Feb	1.081688	0.12909	0.698	61.828444	2.1363038
Mar	4.6459404	8.0240994	0.51487	66.216343	11.262034
Apr	0.078035	0.0921983	1.302E-10	44.14445	2.74905
May	0.465	0.000246	1.345E-10	6.168	0.0560014
Jun	0.011	0.0148	1.302E-10	2.755	0.105403
Jul	4.433E-11	2.784E-11	1.345E-10	1.55E-05	4.836E-11
Aug	4.433E-11	2.784E-11	1.345E-10	4.45E-05	4.836E-11
Sep	4.29E-11	0.0208	1.302E-10	3.2090085	2.6863553
Oct	0.0542	1.3768322	1.345E-10	6.8664115	1.6822084
Nov	0.0930005	0.80343	1.302E-10	2.615903	0.2275116
Dec	0.028	2.784E-11	1.345E-10	0.1184	0.473
2009					
Jan	0.1078087	0.004971	1.345E-10	6.1940324	2.4627202
Feb	0.7935412	0.176829	0.016328	35.56604	0.3563513
Mar	1.294	4.5682007	0.2818601	27.300505	12.135432
Apr	0.13405	18.208421	0.00027	66.342811	3.8679805
May	0.282	0.74347	1.345E-10	15.3558	0.348244
Jun	4.29E-11	1.10181	1.302E-10	13.0969	5.514806
Jul	4.433E-11	2.784E-11	1.345E-10	2.12E-11	4.836E-11
Aug	1.74	2.784E-11	1.345E-10	2.12E-11	2.99E-07
Sep	4.29E-11	2.694E-11	1.302E-10	2.31	1.233
Oct	0.022187	1.341896	0.000417	6.2480018	0.7725112

Nov	4.29E-11	0.0656	1.302E-10	1.6418439	0.0395
Dec	0.011204	2.784E-11	1.345E-10	6.93629	0.524
2010					
Jan	4.433E-11	2.784E-11	1.345E-10	12.382	0.0407006
Feb	0.0011	0.00932	1.215E-10	53.7216	3.11106
Mar	13.270128	1.555	2.15	168.30871	11.37024
Apr	0.623	0.1150396	1.302E-10	154.329	2.3192848
May	2.81E-07	0.0147	1.345E-10	4.0380396	0.3318015
Jun	4.29E-11	0.0381	1.302E-10	3.2064	0.4840002
Jul	0.0148	0.62544	1.345E-10	170.54	27.4
Aug	4.433E-11	2.784E-11	1.345E-10	1.396	1.916E-05
Sep	0.01259	0.18086	1.302E-10	8.8019425	0.0036173
Oct	0.0001155	0.0006287	3.103E-08	6.8306	1.5634034
Nov	7.44E-05	0.683128	1.302E-10	6.5491032	0.6358483
Dec	0.0012303	6.57E-06	1.345E-10	0.5324563	0.1410299
2011					
Jan	4.433E-11	2.784E-11	1.345E-10	0.06088	4.39E-05
Feb	0.254	0.1285	1.215E-10	9.963262	0.2852397
Mar	2.8213024	0.3767099	0.0191	56.249724	3.0627128
Apr	2.1985809	0.6033591	0.0542	70.8188	2.4265443
May	1.25536	1.44	1.345E-10	2.12E-11	4.836E-11
Jun	4.29E-11	2.694E-11	1.302E-10	2.052E-11	4.68E-11
Jul	4.433E-11	2.784E-11	1.345E-10	99.857	0.173
Aug	4.433E-11	2.784E-11	1.345E-10	2.12E-11	4.836E-11
Sep	0.0146017	0.9597	0.0193	46.129831	9.41068
Oct	4.433E-11	0.0261	1.345E-10	4.9203124	0.0236754
Nov	0.02174	0.3402924	4.363E-05	26.6738	3.3821211
Dec	0.17432	2.784E-11	1.345E-10	0.7247826	0.26738
2012					
Jan	0.03818	0.1218	0.000901	177.74761	8.486163
Feb	7.196	16.31823	3.8940604	312.5	20.715979
Mar	7.6314	10.12187	2.260284	245.38	26.663713
Apr	0.3556	3.10102	1.302E-10	633.21251	30.684674
May	0.00104	2.784E-11	1.345E-10	145.07	17.440184
Jun	4.29E-11	2.694E-11	1.302E-10	2.052E-11	4.68E-11
Jul	4.433E-11	2.784E-11	1.345E-10	2.12E-11	4.836E-11
Aug	4.433E-11	2.784E-11	1.345E-10	2.12E-11	4.836E-11
Sep	4.29E-11	2.694E-11	1.302E-10	2.052E-11	4.68E-11
Oct	0.0058483	0.0532487	1.345E-10	3.5503142	0.4768947
Nov	0.000376	0.006692	1.302E-10	5.748542	0.6685122
Dec	1.19	0.017	1.345E-10	1.8410024	0.182336