



UNIVERSIDAD CÉSAR VALLEJO

FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL

Índice de erosión hídrica calculado con la ecuación RUSLE y el modelo HEC-HMS en la subcuenca del río Ocros, Ancash- 2023

TESIS PARA OBTENER EL TÍTULO PROFESIONAL DE:
Ingeniero Civil

AUTOR:

Taype Yañez, John Michael (orcid.org/0000-0002-1556-5704)

ASESOR:

Dr. Tello Malpartida, Omart Demetrio (orcid.org/0000-0002-5043-6510)

LÍNEA DE INVESTIGACIÓN:

Diseño de Obras Hidráulicas y Saneamiento

LÍNEA DE RESPONSABILIDAD SOCIAL UNIVERSITARIA:

Desarrollo sostenible y adaptación al cambio climático

LIMA – PERÚ
2023

DEDICATORIA

Dedico esta tesis a mis padres que con su inquebrantable apoyo me han dado la oportunidad de ser un profesional para el bien de mi familia, mi comunidad y mi país.

Dedico también este esfuerzo a Dios que hace posible que toda buena empresa llegue a buen fin para el bien común de nuestra sociedad.

AGRADECIMIENTO

Agradezco de todo corazón a mis maestros que me han guiado en todo el desarrollo de mi profesión, brindándome, no solo su conocimiento, sino también sus experiencias más significativas.

Agradezco a mis padres quienes estuvieron siempre conmigo dándome su apoyo, sus consejos y su amor interminable.



UNIVERSIDAD CÉSAR VALLEJO

**FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL**

Declaratoria de Autenticidad del Asesor

Yo, TELLO MALPARTIDA OMART DEMETRIO, docente de la FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA de la escuela profesional de INGENIERÍA CIVIL de la UNIVERSIDAD CÉSAR VALLEJO SAC - LIMA NORTE, asesor de Tesis titulada: "Índice de erosión hídrica calculado con la ecuación RUSLE y el modelo HEC-HMS en la subcuenca del río Ocros, Ancash- 2023", cuyo autor es TAYPE YAÑEZ JOHN MICHAEL, constato que la investigación tiene un índice de similitud de 15.00%, verificable en el reporte de originalidad del programa Turnitin, el cual ha sido realizado sin filtros, ni exclusiones.

He revisado dicho reporte y concluyo que cada una de las coincidencias detectadas no constituyen plagio. A mi leal saber y entender la Tesis cumple con todas las normas para el uso de citas y referencias establecidas por la Universidad César Vallejo.

En tal sentido, asumo la responsabilidad que corresponda ante cualquier falsedad, ocultamiento u omisión tanto de los documentos como de información aportada, por lo cual me someto a lo dispuesto en las normas académicas vigentes de la Universidad César Vallejo.

LIMA, 06 de Julio del 2023

Apellidos y Nombres del Asesor:	Firma
TELLO MALPARTIDA OMART DEMETRIO DNI: 08644876 ORCID: 0000-0002-5043-6510	Firmado electrónicamente por: OTELLOM el 06-07- 2023 23:46:38

Código documento Trilce: TRI - 0576818



UNIVERSIDAD CÉSAR VALLEJO

**FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL**

Declaratoria de Originalidad del Autor

Yo, TAYPE YAÑEZ JOHN MICHAEL estudiante de la FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA de la escuela profesional de INGENIERÍA CIVIL de la UNIVERSIDAD CÉSAR VALLEJO SAC - LIMA NORTE, declaro bajo juramento que todos los datos e información que acompañan la Tesis titulada: "Índice de erosión hídrica calculado con la ecuación RUSLE y el modelo HEC-HMS en la subcuenca del río Ocos, Ancash- 2023", es de mi autoría, por lo tanto, declaro que la Tesis:

1. No ha sido plagiada ni total, ni parcialmente.
2. He mencionado todas las fuentes empleadas, identificando correctamente toda cita textual o de paráfrasis proveniente de otras fuentes.
3. No ha sido publicada, ni presentada anteriormente para la obtención de otro grado académico o título profesional.
4. Los datos presentados en los resultados no han sido falseados, ni duplicados, ni copiados.

En tal sentido asumo la responsabilidad que corresponda ante cualquier falsedad, ocultamiento u omisión tanto de los documentos como de la información aportada, por lo cual me someto a lo dispuesto en las normas académicas vigentes de la Universidad César Vallejo.

Nombres y Apellidos	Firma
TAYPE YAÑEZ JOHN MICHAEL DNI: 40994826 ORCID: 0000-0002-1556-5704	Firmado electrónicamente por: JTAYPEY el 07-07- 2023 00:04:36

Código documento Trilce: INV - 1387811



Índice de contenidos

Carátula	i
Índice de contenidos	ii
Índice de tablas	ii
Índice de figuras y gráficos.....	iv
I. INTRODUCCIÓN.....	6
II. MARCO TEÓRICO.....	13
III. METODOLOGÍA	26
3.1 Tipo y diseño de investigación.....	26
3.2 Variables y operacionalización	26
3.3 Población, muestra y muestreo	26
3.4 Técnica e instrumentos de recolección de datos	27
3.5 Procedimiento.....	27
3.6 Método de análisis de datos.....	50
3.7 Aspectos éticos	51
IV. RESULTADOS	126
V. DISCUSIÓN	134
VI. CONCLUSIONES	136
VII. RECOMENDACIONES	138
REFERENCIAS.....	140
ANEXOS	

Índice de tablas

Tabla 01 clasificación de la textura del suelo.....	32
Tabla 02 valores del factor erodabilidad (k)	33
Tabla 03 valores del sub factor m	34
Tabla 04 valores del factor C	35
Tabla 05 valores del factor prácticas de conservación de suelos.....	35
Tabla 06 Valor del área de la cuenca (Km ²)	48
Tabla 07 Valor del perímetro de la cuenca (Km)	49
Tabla 08 Características de la cuenca Ocos	50
Tabla 09 Capitales distritales de la provincia de Ocos	52
Tabla 10 Inventario de lagunas de cuenca Ocos	53
Tabla 11 Unidades geomorfológicas de la cuenca Ocos	54
Tabla 12 Factor de forma	55
Tabla 13 Coeficiente de compacidad	56
Tabla 14 Elaboración de la curva hipsométrica	56
Tabla 15 Cálculos para la relación hipsométrica	57
Tabla 16 Calculos para determinar rectángulo equivalente	58
Tabla 17 Cálculo de la altura media	59
Tabla 18 Valor de la pendiente de la cuenca con arcmap	60
Tabla 19 Cálculo de la pendiente del cauce principal	61
Tabla 20 Numero de ríos de acuerdo a su orden	62
Tabla 21 Longitud de los ríos de acuerdo a su orden	63
Tabla 22 Cálculo de la densidad de drenaje	63

Tabla 23 Cálculo de la relación de bifurcación	64
Tabla 24 Resumen de parámetros geomorfológicos	64
Tabla 25 Ubicación de las estaciones meteorológicas en UTM y coordenadas geográficas	68
Tabla 26 Recopilando información de precipitación diaria	70
Tabla 27 Tabla de valores estadísticos T y Z	78
Tabla 28 precipitación mensual periodo 1973-2021 estación aco	79
Tabla 29 precipitación mensual periodo 1973-2021 estación chiquian	80
Tabla 30 precipitación mensual periodo 1973-2021 estación Cajatambo...	81
Tabla 31 precipitación mensual periodo 1973-2021 estación ambar	82
Tabla 32 precipitación mensual periodo 1973-2021 estación congas	83
Tabla 33 precipitación mensual periodo 1973-2021 estación ocros	84
Tabla 34 precipitación mensual periodo 1973-2021 estación Gorgor	85
Tabla 35 precipitación promedio anual de la cuenca de Ocros	86
Tabla 36 Precipitación media anual y ubicación por estación	86
Tabla 37 áreas entre isoyetas dentro de la cuenca	93
Tabla 38 Cálculo de IMF y R serie 1973-2021 estación Gorgor	97
Tabla 39 Cálculo de IMF y R serie 1973-2021 estación Aco	98
Tabla 40 Cálculo de IMF y R serie 1973-2021 estación Chiquian	99
Tabla 41 Cálculo de IMF y R serie 1973-2021 estación Cajatambo	100
Tabla 42 Cálculo de IMF y R serie 1973-2021 estación Ambar	101
Tabla 43 Cálculo de IMF y R serie 1973-2021 estación Congas	102
Tabla 44 Cálculo de IMF y R serie 1973-2021 estación Ocros	103
Tabla 45 Calculo promedio anual de R (promedio por año)	104

Tabla 46 Calculo promedio anual de R (promedio por mensual)	104
Tabla 47 Calculo promedio anual de R (promedio por año y mensual) ...	105
Tabla 48 Cálculo de valores de k mediante Excel	109
Tabla 49 valores del factor K presentado en tabla con arcgis.....	110
Tabla 50 Erosión Hídrica potencial de la cuenca Ocros	118
Tabla 51 clasificación de valores de NDVI	122
Tabla 52 valores que asume la cobertura vegetal y su clasificación	123
Tabla53 valores de C relacionado con el área de la cuenca de estudio	124

Índice de figuras

Figura 01 Proceso de erosión hídrica	26
Figura 02 erosión pluvial	27
Figura 03 erosión laminar	28
Figura 04 erosion por surcos	28
Figura 05 erosión por cárcavas	29
Figura 06 clases texturales básicas	32
Figura 07 esquema metodológico ecuación RUSLE	44
Figura 08 <i>Mapa de ubicación de la provincia de Ocros</i>	47
Figura 09 <i>Mapa de ubicación del río Ocros</i>	47
Figura 10 Delimitación de la cuenca del río Ocros realizada en ArcGis	48
Figura 11 valor de la longitud de la cuenca (Km) realizada con arcgis	49
Figura 12 Mapa de cuencas Hidrograficas del Peru.....	50
Figura 13 Provincia de Ocros Mapa de límites referenciales.....	51
Figura 14 Curva hipsométrica.....	57
Figura 15 Rectángulo equivalente.....	58
Figura 16 Histograma de frecuencias de alturas	59
Figura17 Perfil longitudinal del río principal.....	60
Figura 18 Distribucción y orden de los ríos mediante arcmap	62
Figura 19 Ubicación de la ciudad de Ocros.....	65
Figura 20 Ubicación de la cuenca de Ocros.....	66
Figura 21 Plano de la cuenca del río Ocros en Arcgis.....	67
Figura 22 Búsqueda de las estaciones a utilizar en la zona de estudio	69

Figura 23 Selección de las estaciones dentro y fuera de la zona de estudio	70
Figura 24 descarga de datos de precipitación y pasaremos a hoja Excel	70
Figura 25 Mostrar la ventana principal del software Hydracces	71
Figura 26 Creación de base de datos en el software Hydracces	71
Figura 27 Hydracces importando datos	72
Figura 28 Hydracces importando ubicación de estaciones	72
Figura 29 Hydracces aceptado data de pp y estaciones	72
Figura 30 Hydracces importar archivos	73
Figura 31 Hydracces importar lluvias mensuales	73
Figura 32 Hydracces elegir opción precipitaciones	73
Figura 33 Hydracces corrida del programa	73
Figura 34 Hydracces comando vector regional	74
Figura 35 Importar datos al arcgis	87
Figura 36 Visualizar estaciones y contorno de la cuenca con arcgis	87
Figura 37 Agregar coordenadas de los puntos	88
Figura 38 Dar formato a los puntos	88
Figura 39 Crear polígonos de Thiessen	88
Figura 40 Se visualiza los polígonos de Thiessen	89
Figura 41 Se visualiza los polígonos de Thiessen en la cuenca	89
Figura 42 Se visualiza los polígonos de Thiessen dentro de la cuenca	89
Figura 43 Cálculo de isoyetas con arcgis	90
Figura 44 Se determina la configuración con arcgis	91
Figura 45 isoyetas del todo el raster	91

Figura 46 corte y modificación de las isoyetas	91
Figura 47 isoyetas dentro de la cuenca Ocros	92
Figura 48 Cálculo de las áreas entre isoyetas	92
Figura 49 Cálculo de la precipitación promedio anual de la cuenca	93
Figura 50 Mapa de isoyetas de precipitación promedio anual de la cuenca94
Figura 51 Mapa de valores de R en la cuenca Ocros periodo 1973-2021	106
Figura 52 ecuación para el cálculo de	107
Figura 53 FAO archivos de mapas de suelos del mundo para descargar.. 108	
Figura 54 Clasificación mapa de suelos FAO	108
Figura 55 distribución de Valores del factor K	109
Figura 56 valores de K en arcgis	110
Figura 57 Pendiente factor S en radianes	113
Figura 58 Pendiente factor S en grados	113
Figura 59 distribución de los valores del factor L	114
Figura 60 distribución de los valores del factor LS	115
Figura 61 distribución de los valores del factor S1	116
Figura 62 distribución de los valores del factor L1	116
Figura 63 distribución de los valores del factor LS1	117
Figura 64 Mapa de erosión hídrica potencial	118
Figura 65 Mapa de erosión Hídrica Potencial de la subcuenca	120p
Figura 66 Esquema metodológico para el cálculo de la cobertura vegetal 121p	

Figura 67 Cálculo de los valores de NDVI	122p
Figura 68 valores de cobertura vegetal entre 0 a 1.....	123p
Figura69 factor C de acuerdo con los valores obtenidos clasificado en 5 zonas	124p

Índice de gráficos

Gráfico 01 año vs índice de precipitaciones de cada estación	74
Gráfico 02 vector regional vs estaciones	75
Gráfico 03 pp acumulada vs pp acumulada Aco	75
Gráfico 04 pp acumulada vs pp acumulada Congas	76
Gráfico 05 pp acumulada vs pp acumulada Chiquian	76
Gráfico 06 pp acumulada vs pp acumulada Ocros	77
Gráfico 07 pp acumulada vs pp acumulada Ámbar	77
Gráfico 08 Curva doble masa	78
Gráfico 09 Erosión hídrica potencial	122

RESUMEN

Para los proyectos de gestión de conservación de suelos en la provincia de Ocos y sus 10 distritos se hace necesario conocer el impacto de los cambios climáticos sobre los procesos de erosión hídrica y las potenciales pérdidas de suelo. Se propuso entonces determinar el modelo de cálculo hidrológico, entre el método RUSLE y el modelo HEC-HMS, más eficiente para calcular la erosión hídrica de suelos en la subcuenca de Ocos.

Se elaboró la distribución espacial de la pérdida de suelo por erosión hídrica en la subcuenca del río Ocos entre los años 1973 y 2021 por cada método. Para ello, se ha recurrido a recopilar datos de precipitación de SEMANHI y PISCO e información de imágenes de satélite LANDSAT, el empleo de la ecuación universal de pérdida de suelos en su versión adaptada a las condiciones rurales de América del Sur (RUSLE) y el modelo HEC-HMS, calculando sus factores (A, R, K, LS, C, P) con el correspondiente tratamiento mediante softwares ENVI y ARCSIG y otros.

Una vez obtenido las tablas y mapas de erosión hídrica potencial y actual por cada método se concluye que el modelo más eficiente para calcular las pérdidas de suelos fue HEC-HMS. Las tasas más elevadas con las tierras no cultivadas o abandonadas ($>50 \text{ Ton}/(\text{Has} \cdot \text{año})$) cuya extensión sigue aumentando, sobre todo, en las partes baja y alta de la subcuenca.

Palabras clave: Erosión hídrica, modelo RUSLE, modelo HEC-HMS, mapa de erosión, métodos.

ABSTRACT

For soil conservation management projects in the province of Ocos and its 10 districts, it is necessary to know the impact of climate change on water erosion processes and potential soil losses. It was then proposed to determine the most efficient hydrological calculation model, between the RUSLE method and the HEC-HMS model, to calculate the water erosion of soils in the Ocos sub-basin.

The spatial distribution of soil loss due to water erosion in the Ocos river sub-basin between the years 1973 and 2021 was elaborated by each method. For this, it has been used to collect precipitation data from SEMANHI and PISCO and information from LANDSAT satellite images, the use of the universal equation of soil loss in its version adapted to rural conditions in South America (RUSLE) and the HEC-HMS model, calculating its factors (A, R, K, LS, C, P) with the corresponding treatment using ENVI and ARCSIG software and others.

Once the tables and maps of potential and current water erosion were obtained for each method, it was concluded that the most efficient model to calculate soil losses was HEC-HMS. the highest rates with uncultivated or abandoned land (>50 Ton/(Ha*year) whose extension continues to increase, especially in the lower and upper parts of the sub-basin.

Keywords: water erosion, RUSLE, HEC-HMS, erosion map, methods.

I. Introducción

La realidad problemática que conlleva los cambios climáticos que enfrenta la comunidad global se manifiesta en el aumento de temperaturas y el aumento de las lluvias; esto ha provocado el incremento de la erosión de masas de tierras fértiles, una pérdida de suelos útiles para el cultivo poniendo en riesgo la productividad alimentaria que es la base de la subsistencia humana. Dado que los recursos naturales como las tierras de cultivo son indiscutiblemente la columna vertebral de la supervivencia de todas las poblaciones y por ende el motor del desarrollo económico de toda región. La productividad de toda comunidad ya sea la más rudimentaria o la más industrializada depende de la alimentación de su población por tanto asegurar la conservación y optimización de sus recursos naturales es la prioridad para su subsistencia a lo largo de los años. La agricultura como la ganadería son la base de la alimentación por tanto la disponibilidad de tierras de cultivo o pastoreo es primordial a nivel global sin embargo el cambio climático ha provocado un aumento acelerado de la degradación hídrica de los suelos poniendo a los suelos fértiles entre uno de los recursos más vulnerables en la actualidad. Es prioridad emprender el análisis, evaluación y control de esta consecuencia ambiental que ya es uno de los temas de mayor relevancia para toda la comunidad mundial y su agenda de desarrollo. (Ananda & Herath 2003).

La erosión hídrica es uno de los impactos ambientales más negativo y perjudicial pues su impacto socioeconómico determina la calidad de vida que puede tener una población. La erosión hídrica como causante de la pérdida de suelos fértiles primordialmente en las cuencas de los ríos ha ocasionado la disminución de la calidad de los suelos agrícolas repercutiendo no solo en el sector agrícola sino también en el sector agropecuario. Al ser las cuencas de los ríos los constituyentes del movimiento de las masas de tierras erosionadas por las lluvias se convierten en el agente que a lo largo de las cuencas transporta estos suelos por medio del río dando lugar a la sedimentación de estos suelos transportados en zonas de características hidráulicas que causan su acumulación en volúmenes que ocasionan aniegos de las zonas de cultivo, el desborde de los ríos debido al aumento de las aguas de los ríos. (Montoya & Dario 2005)

La realidad nacional no es ajena a este fenómeno climático pues el Perú es parte del grupo de países de Sudamérica que enfrenta el aumento de los índices de

precipitación y en consecuencia el aumento de la degradación de sus suelos. Nuestro país experimenta el fenómeno del niño el cual causa no solo el aumento de las lluvias sino también su intensidad y frecuencia. El norte del país es el más afectado como ya ha quedado evidenciado en los desastres ambientales sucedidos el 2022 en ciudades como Tumbes, Piura, Lambayeque. El sur del país tampoco es ajeno a estos desastres ambientales pues el Perú posee una topografía que aumenta el desplazamiento de masas de suelos y su variado clima que es determinado por la cadena montañosa de los andes. Los factores topográficos como gradientes pronunciadas y agrestes en las cuencas junto a complejas lluvias incrementan la erosión hídrica (Espinoza y otros, 2012). Dado que la erosión hídrica es ocasionada por el factor de precipitaciones y al encontrarse las principales cuencas hídricas del Perú en zonas altas se origina desplazamiento de suelos que se sedimentan en los cauces de los ríos lo cual causa la modificación de la corriente de los ríos y hace difícil el control de embalses (Sabino, Felipe & Lavado, 2017). La zona sierra que es donde se encuentra la totalidad de las cuencas hidrográficas y que presenta una topografía empinada sufre la pérdida de suelos, los cuales son desplazados por los ríos hacia la zona costera. En la costa se sedimentan los suelos desplazados por los ríos ocasionando las inundaciones. Este fenómeno provoca la pérdida de suelo fértil en la sierra e inundaciones de áreas de cultivo en la costa; el fenómeno de “El Niño” es el fenómeno que más afecta al país aumentando las lluvias y por ende incrementando la erosión hídrica logrando así hacer vulnerable el porcentaje de suelos aprovechables para la agricultura, ganadería y otros que dependen de este fenómeno como los centros urbanos desarrollados (OXFAM, 2014). Un factor como la deforestación de la vegetación a través de la tala ilegal de extensas zonas de la selva nacional son también causantes del aumento de la erosión hídrica al quedar expuestos los suelos a las precipitaciones (Rosas M. A. 2016)

La formulación del problema: Según Hernández, Fernández y Baptista el problema de investigación parte desde la: “[...] concepción de toda idea de investigación científica y por tanto del científico, del universitario o del docto que ha ahondado en el tópico tratado y seleccionando un tipo de enfoque cuantitativo, posee los márgenes científicos para proponer el problema de investigación” (2010, p.36). Frente a esta problemática hallada, la pregunta que motiva al presente proyecto de investigación, es la siguiente: Po = ¿En qué medida la ecuación de RUSLE y el modelo HEC-HMS influyen en el índice de erosión hídrica en la subcuenca Ocros, Ancash- 2023? Asimismo, se desprenden los problemas específicos; estos problemas son los siguientes: ¿Como la ecuación de RUSLE y el modelo HEC-HMS influyen en el volumen de erosión hídrica en la subcuenca Ocros, Ancash-2023? ¿De qué manera la ecuación de RUSLE y el modelo HEC-HMS influyen en la pérdida de suelos en la subcuenca Ocros, Ancash- 2023? ¿Como la ecuación de RUSLE y el modelo HEC-HMS influyen en el desplazamiento de suelos en la subcuenca Ocros, Ancash- 2023? ¿En qué medida la ecuación de RUSLE y el modelo HEC-HMS influyen en el flujo de escorrentías en la subcuenca Ocros, Ancash- 2023?

La Justificación de la presente investigación se sustentará en las investigaciones elaboradas por varios autores que investigan el tema. seguidamente, se justificará el trabajo de investigación mediante los siguientes ítems:

Justificación teórica: comprende elaborar una descripción que manifiesta las brechas de conocimiento existentes que la investigación se propone reducir. En la actualidad, la conservación del medio ambiente supone la exhaustiva revisión de los sistemas de usos del suelo a nivel de manipular este recurso. Y a su vez gestionar planes de conservación y mitigación de esta problemática. Por ello la prioridad de calcular en forma cuantitativa la pérdida de suelo anual.

Justificación social se puede definir como la contribución académica de los trabajos de tesis que buscan soluciones para las necesidades de la sociedad, actuales y venideras y así ser una contribución a la mejora de la calidad de vida de la comunidad del área de estudio. Esta tesis permite cuantificar y conocer las zonas que están afectadas por la erosión hídrica. Además, monitorear los planes de conservación de suelos y reducir el fenómeno de erosión hídrica, con lo cual se ayudará a agricultores y técnicos en generar disposiciones para la conservación del

suelo.

Justificación económica consiste en procesos que están dirigidos a la evaluación de cuentas. significa la verificación de la ejecución de las responsabilidades correspondientes a las instituciones responsable de los presupuestos a nivel de desarrollo de proyectos conforme a la normativa vigente. En el país de argentina El INTA pudo valorar económicamente el proceso de erosión hídrica, que genera una pérdida de 30 millones de dólares al año. Nosotros con nuestra investigación queremos aportar con los resultados obtenidos las entidades del estado puedan estimar que pérdida de dinero ocasiona la erosión hídrica actualmente.

Finalmente podemos concluir que los mapas de erosión hídrica van aportar una base técnica que permitirá elaborar políticas de estado en mejora de los planes de conservación de suelos implementado prácticas agrícolas apropiadas y una disposición del recurso que sea sustentable en el tiempo.

La hipótesis que orienta esta tesis, es la afirmación que se va a demostrar; a razón del tema, Hernández, Fernández y Baptista mencionan que: La hipótesis son posibles respuestas a las interrogaciones de investigación. Se dice que en la vida diaria planteamos hipótesis sobre muchos temas para seguido indagar suverdad, se concluye que la hipótesis es el eje central de todo método deductivo-cuantitativo (2010, p.92). Por ende, la hipótesis general, se enunció de la siguiente manera: H_0 = El modelo HEC-HMS influye sustancialmente en el índice de erosión hídrica en la subcuenca Ocros, Ancash- 2023. Asimismo, se desprenden las hipótesis específicas; El modelo HEC-HMS influye sustancialmente en el volumen de erosión hídrica en la subcuenca Ocros, Ancash- 2023. El modelo HEC-HMS influye cuantitativamente en la pérdida de suelos en la subcuenca Ocros, Ancash- 2023. El modelo HEC-HMS influye cuantitativamente en el desplazamiento de suelos en la subcuenca Ocros, Ancash- 2023. El modelo HEC-HMS influye significativamente en el flujo de escorrentías en la subcuenca Ocros, Ancash- 2023.

Objetivos: Por ende, el objetivo general, se enunció de la siguiente manera: **Determinar** en qué medida la ecuación de RUSLE y el modelo HEC-HMS influyen en el índice de erosión hídrica en la subcuenca Ocros, Ancash- 2023. Asimismo, se desprenden los objetivos específicos; estos objetivos son los siguientes: **Calcular** como la ecuación de RUSLE y el modelo HEC-HMS influyen en el volumen de

erosion hídrica en la subcuenca Ocros, Ancash- 2023. **Evaluar** de qué manera la ecuación de RUSLE y el modelo HEC-HMS influyen en la pérdida de suelos en la subcuenca Ocros, Ancash- 2023. **Determinar** como la ecuación de RUSLE y el modelo HEC-HMS influyen en el desplazamiento de suelos en la subcuenca Ocros, Ancash- 2023. **Calcular** de qué manera la ecuación de RUSLE y el modelo HEC-HMS influyen en el flujo de escorrentías en la subcuenca Ocros, Ancash- 2023.

II. Marco Teórico

Para este trabajo de tesis se empleó como antecedentes fundamentales nacionales e internacionales; El artículo científico, elaborado por Jorge Pérez Bidagain et al, 2015, Ajuste del modelo de erosión HEC-HMS para un Argisol Subéutrico y un Brunosol Éutrico en el Uruguay. El artículo tiene como **objetivo** ajustar el modelo HEC-HMS a las condiciones específicas de la zona de estudio, el nivel de erosión laminar específica, el desplazamiento y azolvamiento de sedimentos en las zonas bajas de las cuencas poniendo el énfasis en los procesos físicos que ocurren en el suelo. La **metodología** fue experimental basándose en datos digitales como empíricos, para este estudio se utilizaron 21 parcelas con un área de 100 m² cada una. Las metodologías de cálculo fueron la ecuación USLE, RUSLE y HEC-HMS. Los datos para el ajuste de HEC-HMS se tomaron de las parcelas experimentales, el flujo de escurrimiento, los datos climáticos diarios y la erosión laminar se registraron in situ. La escala de comparación fue anual. Los **resultados** indican que el nivel de precisión alcanzado por el modelo HEC-HMS es relativamente más óptima. De los ensayos realizados se obtuvo que el método USLE/RUSLE calculó un valor de $R = 0.97$ y HEC-HMS un $R = 0.98$ que según el Nash-Sutcliffe el valor de desempeño en su índice es de 0.92 (desempeño muy bueno). Como **conclusión** se determinó que el modelo HEC-HMS debe ser ajustado en sus variables físicas del suelo y repetir el proceso para optimizar los resultados del modelo. Ambos modelos presentan un sobredimensionamiento de los valores de menor erosión que puede estar asociado a algunas limitaciones del modelo matemático.

El trabajo de investigación realizado por Roxana Guadalupe Ramírez et al, en la Universidad Tecnológica Regional de Paraná, titulada Utilización de SIG para la aplicación del modelo MUSLE en la estimación de la producción de sedimentos en Aldea Santa María, Entre Ríos. En esta investigación se tuvo como **objetivo** determinar los parámetros de cálculo de la ecuación MUSLE mediante el sistema de información geográfica SIG y el modelo HEC-HMS. La **metodología** empleada en esta investigación fue cuasiexperimental. A partir de la base de datos SIG se diseñaron los modelos digitales de geomorfología, topografía, hidrológicos y ambientales. Dado que el fenómeno de erosión de suelos es un proceso dinámico muy activo en comparación a los procesos de precipitación se pone énfasis en la producción promedio de un año de escorrentía. El valor de escorrentía fue estimado

mediante el HEC-HMS para optimizar el cálculo del método MUSLE. Se obtuvo dos grupos de valores de escurrimiento. Realizados los cálculos se lograron los **resultados** siguientes; flujo de escurrimiento de 2.4, 3.48, 4.29 y 5.03 mm/hr estimados por el HEC-HMS y empleando la ecuación MUSLE con ArcGis 2.3, 3.47, 4.27 y 5.01 mm/hr con estos valores se estima el valor de degradación de suelos. La **conclusión** señala que el modelo HEC-HMS posee una capacidad mayor de análisis de precipitaciones con respecto a MUSLE, esto le permite la simulación de eventos pluviales para periodos de retorno anuales, mensuales y anuales. El volumen de erosión de suelos está directamente relacionado con el modelo hidrológico por lo tanto es necesario contar con modelos de análisis tan preciso como el HEC-HMS.

En el ensayo científico, escrito por Marta Gonzales del Tánago, titulado La ecuación universal de pérdida de suelos, pasado, presente futuro se tiene como **objetivo** revisar críticamente el progreso de las metodologías para la determinación de la erosión de suelos. Se distinguen los modelos de base física de los métodos empíricos; se establece la evolución de los métodos desde la aparición de la ecuación USLE de Wischmeier y Smith en 1978 pasando por la revisión de la ecuación RUSLE hasta la RUSLE modificada. Mediante una **metodología** descriptiva se hace la comparación entre la ecuación universal de erosión con el nuevo modelo de cálculo HEC-HMS. Los **resultados** luego del análisis crítico manifiestan que el uso de la ecuación USLE no ha tomado en cuenta la base experimental de la que han tomado los coeficientes de cálculo, así también las tablas para los factores de cobertura vegetal no son representativas más que para la región norteamericana. Sin embargo, la nueva metodología HEC-HMS ha sido construida con valores representativos para cada región del planeta. Gracias a la nueva red de información satelital SIG se obtienen parámetros específicos de erosión y tipos de suelos. **La conclusión** tras el análisis crítico sostuvo que la aplicación de las metodologías RUSLE pueden ser aplicadas en zonas de las cuales se posea una información precisa de los datos meteorológicos y geomorfológicos para calcular los factores de erosión. Mientras que el método HEC-HMS puede cruzar información digital desde diferentes fuentes para obtener una data confiable y con una precisión óptima.

La Universidad Nacional Autónoma de México tiene como tesis para grado de magister, del ingeniero civil José Manuel Ramírez León, Producción de sedimentos en cuencas: revisión de criterios y aplicabilidad a la cuenca del río Apulco. El **objetivo** principal estimar la generación de sedimentos en cuencas usando la metodología de Kothyari et al. (1996) y la ecuación USLE. El método Kothyari se concentra en la generación de sedimentos durante las precipitaciones y la variable tiempo-área. El tiempo de concentración y el suelo erosionado son estimados mediante segmentos de cuenca que se distribuyen en toda el área. La USLE en este aspecto tuvo valores 248 tn/he en periodos anuales, 2.35 tn/ha mensuales y 0.35 tn/ha diarias bajo precipitaciones regulares y el método Kothyari tuvo valores de 325 tn/ha anual, 3.34 tn/ha mensual y 0.21 tn/ha diarias. Esta nueva metodología complementada ha sido aplicada a la zona sureste de México, en la provincia de Puebla. La cuenca analizada fue la del río Apulco. Los resultados de erosión obtenidos muestran que la variación fue de entre - 32.03% a 235.11% demostrando un índice de error del 22.42% entre el volumen de sedimento calculado y el volumen medido de sedimento acumulado en las represas. Este margen de error permite demostrar la necesidad de elaborar metodologías apropiadas a las zonas de estudios. Adecuando nomogramas, tablas de coeficientes y sobre todo el registro de la torrencialidad específica de cada zona de investigación.

Velásquez y Escobar (2007). De su trabajo de investigación titulada Identificación de suelos susceptibles a riesgos de erosión y con mayor capacidad de almacenamiento de agua presentado en la universidad nacional de Colombia tuvo como **objetivo**: Plantear un método integro y de participación en la identificación de los suelos que son afectos de riesgo de erosión hídrica. Aplicando una **metodología** basada en siete etapas, destacándose en primer lugar el tratamiento de la data y la identificación de zonas susceptibles de erosión hídrica obtuvo los **resultados** siguientes: Del área total estudiada se obtuvo que más del 50% posee pendientes escarpadas y severamente pronunciadas llegando a sobrepasar el 25 % de gradiente. **Conclusión**: puesto que no se contó con una cooperación significativa por parte de la población durante los trabajos de diagnóstico se pudo concluir que esta inacción es una restricción técnica que va en desmedro de la conservación de suelos en varias regiones cuyo estado socioeconómico es de pobreza y de poca confianza en las instituciones estatales.

Rosas & Gutiérrez (2016) En su tesis titulada Sediment Yield changes in the peruvian Andes for the year 2030.,2016) presenta como **objetivo** elaborar una metodología capaz de medir el porcentaje de erosión de suelos tanto actual como futura a escala de la cuenca del rio Jequetepeque y el rio Santa con lo cual se podrá proponer directivas que regulen estas pérdidas no solo ambientales sino también económicas. Utilizando una metodología basada en la obtención de data satelital a través del sistema de información geográfica del Perú, como lo es TRMM (Tropical Measuring Mission) se obtuvo los índices de precipitación tanto anual como mensual. Así mismo se utilizó la información de las imágenes de elevación digital mediante el servidor AsterGDEM. Para obtener el factor de tipo de suelo y sus propiedades se recurrió al server World Soil Information. El parámetro de cobertura vegetal (C) y los usos de los suelos se revisó el GlobeLand Cover Share Database, un trabajo de investigación presentado en el año 2010 por la FAO. Por último, se empleó la metodología RUSLE para hallar la pérdida de suelos (Renard, et al .1994). como **resultado**, se logró elaborar mapas detallados de la erosión hídrica ocurrida en las cuencas estudiadas sobre una escala de 5 km de pixel durante los años de 2010, 2000, 1990. Los datos obtenidos son de 41x16 ton/año en el año 2010, 26x106 ton/año para el 2000 y 41x16 ton/año para 1990. De la información analizada se demostró que la región andina durante el periodo de 1990 experimentó una pérdida de suelos mayor en comparación con las otras regiones del Perú. (Uribe, Quintero, & Valencia, 2013) la conclusión que se alcanzo fue evidenciar la importancia de mecanismos que regulen los fenómenos de erosión hídrica que significan perdidas de carácter económico manifestada como origen de contaminación no puntual, perdida de suelos fértiles y los costos de remoción y descolmatación de sedimentos en las cuencas.

El MINAM (Ministerio de Ambiente del Perú) promovió el “Diseño participativo de un esquema de pago por servicios ambientales en la cuenca del rio Cañete en el 2010” que tuvo como **objetivo** diagnosticar el estado ambiental y socioeconómico de la cuenca del rio cañete mediante procesamiento de datos hidrológicos y meteorológicos obteniendo el balance hídrico y la caracterización de aquellas zonas que representen una mayor contribución de volumen hídrico al caudal del rio cañete que tiene como termino en la zona de menos elevación de la cuenca. La **metodología** esta desarrollada mediante el empleo del servidor Soil and Water

Assessment Tool (SWAT) del cual se obtuvo la cuantificación de los factores determinantes del balance hídrico del flujo de agua en los suelos. Se identificó y caracterizó la cuenca mediante sus subcuencas para lo cual se extrajeron los factores hídricos como de tipo de suelos, prácticas de conservación, índice de precipitación y la geomorfología correspondiente. Con esta información se elaboró el modelamiento hidrológico SWAT en formato digital ARCSWAT mediante el software ArcGis. A partir de este modelamiento se logró los **resultados** siguientes: tanto las precipitaciones como el derretimiento de nevados son las principales fuentes de volumen de agua que incrementan el caudal del río Cañete en la zona alta de la cuenca que se convierte en el principal abastecedor de agua para la parte baja de la cuenca. También se pudo determinar que el mayor porcentaje de retención de sedimentos se ubican en la zona baja de la cuenca. La conclusión obtenida demuestra la necesidad de la implementación de programas que mejoren la conservación de los suelos fértiles sin reducir la productividad agrícola, el deterioro de la andenería, la regulación y protección hídrica. La conductividad hidráulica efectiva

En su trabajo de tesis Moreno roldan, 2017 titulada “Estimación de pérdida de suelo por erosión hídrica aplicando el método USLE y haciendo uso del SIG en la subcuenca del río Olleros-distrito de Olleros periodo 2015” tuvo como objetivo estimar la degradación de los suelos por erosión hídrica utilizando la metodología U.S.L.E y el sistema de información geográfica de la subcuenca del río Olleros. El **método** se basa en la ecuación universal U.S.L.E que requiere la determinación de los parámetros de cálculo que son la erosividad, la erodabilidad, los parámetros topográficos, la gradiente promedio de la subcuenca, la capa forestal y los programas de conservación de suelos. Los factores necesarios para la ecuación fueron obtenidos desde el SIG para su posterior multiplicación de factores y así obtener el índice de pérdida de suelos actual y potencial. Tras el análisis y procesamiento de datos se obtuvo como resultados máximos una erosión muy alta de 100 a 161.72 tm/ha*año en un área que representa 10.165 % del área total. En el 10.034 % del área de la cuenca se produce una pérdida de 50 a 100 tm/ha*año, en el 9.899 % del área de la cuenca se produce una pérdida de 5 a 25 % tm/ha*año y como erosión muy baja se obtuvo una pérdida de 0 a 5 tm/ha*año en el 59.945 % de la subcuenca.

Gomes, Ferreira, Farias, & De Castro, 2018 en su trabajo de investigación titulada *Losses of Soil, water, organic carbon and nutrients caused by water erosion in different crops and natural savannah in the northern Amazon* tiene como **objetivo** evaluar la pérdida de suelos, carbono orgánico, suelos de cultivo y agua a causa de la conductividad hidráulica efectiva sobre suelos desnudos y suelos cubiertos en parcelas de cultivo. Con una **metodología** que consistió en elaborar parcelas con tres estados del suelo, la primera consistió en un suelo cultivado, la segunda un suelo desnudo y la tercera sobre un suelo cubierto. Sobre estas muestras expuestas al impacto de las gotas de lluvia natural durante un periodo de tiempo se registró el porcentaje de pérdida de suelos, pérdida de agua, disminución de nutrientes y carbono orgánico. Los resultados que obtuvieron muestran que el índice porcentual de mayor pérdida de agua, suelos, nutrientes y carbono orgánico lo sufrió las muestras de suelo desnudo, las parcelas cultivadas sufrieron pérdidas iguales al suelo desnudo durante el periodo de siembra dado que el suelo se encuentra descubierto. El suelo cubierto obtuvo pérdidas menores debido al tratamiento de cobertura vegetal con el que se le trato. Finalmente se concluyó que los suelos cultivados durante el periodo de siembra deben ser tratados para evitar la erosividad de las lluvias. Los suelos desnudos deben ser protegidos con cobertura vegetal para evitar la pérdida

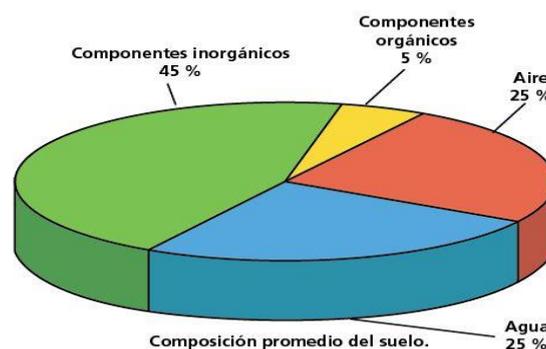
De acuerdo con (Fonseca, Pinto, & Augusto, 2016 en su trabajo académico titulado *Vulnerabilidade à erosão hídrica e taxa de aporte de sedimentos na Bacia Hidrográfica do Alto Rio Iguaçu* tuvo como objetivos mapear y evaluar las zonas de alto riesgo de degradación hídrica en la cuenca alta del río Iguazú. Mediante la **metodología** basada en la ecuación universal de pérdida de suelos R.U.S.L.E. sobre la base de datos S.I.G. se generó mediante las herramientas digitales del software ArcGis los mapas de erosión hídrica potencial y se mapeo las zonas de mayor degradación hídrica poniendo énfasis en las zonas de cultivo. El modelamiento geo HEC-HMS produjo los factores de cálculo K, R, Ls, C y P con los cuales se calculó la tasa de degradación hídrica actual y potencial. Los **resultados** obtenidos mediante los mapas modelados y la ecuación RUSLE demostraron que la degradación ambiental y su vulnerabilidad de erosión hídrica. También se calculó el índice de concentración de sólidos disueltos en suspensión, el índice de descarga de sólidos y entrega de sedimentos. La tasa de pérdida de

suelos actual para la zona alta de la cuenca del Iguazú fue de bajo potencial erosivo mostrando una degradación de menos de 2.5 tm/ha*año en un área que representa el 23.52 % de la cuenca alta.

Teorías relacionadas al tema: El siguiente trabajo de tesis se fundamentó sobre las siguientes teorías, planteadas por distintos autores.

Suelo; es la capa superficial que cubre la corteza terrestre. Su composición mineralógica es compleja ya que no solo está conformada por las partículas desintegradas de las rocas sino también de material orgánico como es la vegetación natural y los residuos orgánicos. Sus principales propiedades físicas están determinadas por su composición y su estructura. La erodabilidad es uno de las propiedades más determinantes de la erosión de los suelos, al ser un suelo más susceptible de erosión que otro se tendrá un valor de erodabilidad distintos. una cantidad importante de actividades y recursos productivos como la agricultura, agropecuario, inmobiliario, industrial y ambiental tienen como soporte al suelo. Este recurso natural es de una importancia primordial para la comunidad global pues es directamente dependiente de los frutos del suelo y sus otros beneficios. La actividad ganadera de pastoreo y la agricultura dependen del suelo en el que se desarrollan, de los nutrientes y el carbono orgánico que requieren los cultivos y forrajes. La concentración de nutrientes en los suelos ya sea en un alto porcentaje o con escasa concentración definen el nivel de fertilidad del suelo. Estos nutrientes se hallan en la capa superficial del suelo, la cual puede ser de varios centímetros de espesor concentrando la mayor fertilidad. El suelo tiene índices de formación que están muy por debajo de las tasas de erosión hídrica esto demuestra que se necesitan periodos muy largos de formación de nuevos suelos frente a la rápida degradación y desprendimiento de capas de suelo fértil. Un solo centímetro de suelo compuesto de nutrientes puede tardar cientos de años en formarse (León Peláez, 2001).

Figura 1: composición promedio del suelo



Fuente: Composición del suelo (Ortega Miranda, 2017)

Erosion hídrica del suelo: es la degradación de suelos a causa de la energía de impacto de las gotas de lluvia y las masas de agua de lluvia que se forman sobre los suelos cubiertos o desnudos; estas láminas de agua movidas por la gravedad de las pendientes de los suelos causan la fricción hidráulica. Esta cinética hidráulica remueve y traslada las partículas de suelo a través de las escorrentías de las cuencas hidrológicas. La erosión hídrica es una consecuencia del impacto de las lluvias principalmente y la acción del agua, este proceso es complejo implica la segregación de las partículas de suelo, su desprendimiento ocasionado por el impacto de la lluvia y el desplazamiento de las partículas removidas por las laderas mediante escorrentías. (Meyer & Harmon, 1984).

Dentro de las propiedades mecánicas del suelo la resistencia es la que contrarresta la fuerza del impacto de la lluvia. En este proceso, características como la consistencia de los agregados, su índice de cohesión junto a la permeabilidad, el porcentaje de vacíos, la composición del suelo y su textura, son variables que determinan el mayor o menor grado de vulnerabilidad del suelo a la erosión. El traslado de las partículas de suelos erosionadas depende de la granulometría del tipo de suelo, los suelos de partículas más finas están mejor cohesionadas pero una vez desagregadas son de fácil traslado. Los suelos de partículas gruesas están menos compactos por lo tanto son de fácil desprendimiento, pero lento traslado. (Wischmeier & Mannering, 1969).

Métodos de cálculo de la erosión hídrica: el desarrollo de los estudios para elaborar cálculos matemáticos que puedan predecir la generación de sedimentos a causa de la erosión hídrica y por ende las pérdidas que esto significa para las actividades del hombre tiene sus inicios modernos en el estudio de G. K. Gilbert (1843-1918) en "El transporte de fragmentos por agua corriente" sin embargo el aumento del interés por este fenómeno natural es enfatizado por las instituciones gubernamentales de los Estados Unidos produciendo en 1959 la ecuación universal de pérdida de suelos USLE (siglas en inglés), trabajo realizado por Wischmeier y posteriormente modificado en colaboración con Smith en los años 1965 y 1978 produciéndose la ecuación RUSLE, MUSLE y RUSLE2. Los principales métodos de cálculo se pueden clasificar en tres grupos

- Métodos con base en medición directa como la curva de descarga de sedimentos y la sedimentación de embalses. Este procedimiento está basado en

el registro directo de las variables de estudio, el registro de datos por intervalos de tiempo, mediciones hidrológicas directas. Estos fueron los primeros análisis de erosión practicados.

- Métodos empíricos o de agrupación de variables son aquellos basados en sistemas de información geográfica (SIG) cuyos principales parámetros son calculados sobre la base de un modelo matemático. Esta metodología tiene sus inicios con la ecuación USLE y sus predecesoras MUSLE, RUSLE, RUSLE 2
- Métodos de simulación física como el Modelo WEPP, HEC-HMS y el EUROSEN cuyos procesos han demostrado una mayor precisión en la estimación de los índices de erosión de suelos. Sus modelos basados en variables específicas adicionales a los modelos empíricos como el flujo de escorrentía, los intervalos de tiempo y el manejo de datos aleatorios de mayor confiabilidad y predicción. Estos nuevos modelos también se les ha incorporado en su base matemática el método de Montecarlo para el cálculo predictivo de condiciones extremas de precipitaciones como tormentas atípicas.

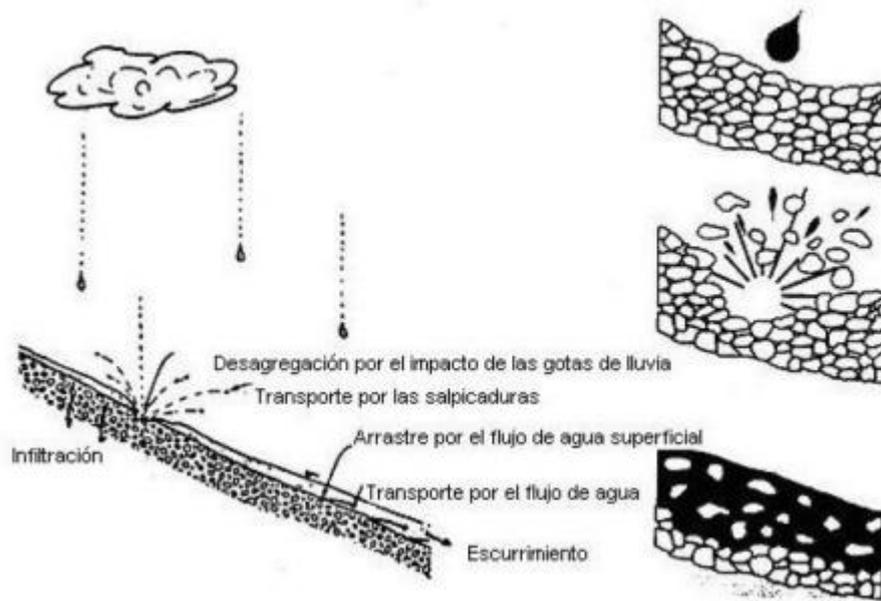
Tabla 1: clasificación de métodos hidrológicos

Metodos directos	Metodos en base a modelos matematicos	
Metodos con base en medicion directa	Metodos empiricos o de agrupacion de variables	Metodo de simulacion fisica
Mediciones directas hidrológicas	Metodo de Dendy y Bolton	Model WEPP
sedimentos en secciones de estudio	Metodo PSIAC (Comite Interinstitucional del pacifico Suroeste)	Model EUROSEN
Muestreo sobre el cauce	Metodo de Tatum (sur de california)	Modelo HEC-HMS
Curva de descarga de sedimentos	Ecuacion de anderson	
Curvas de produccion de sedimentos	Ecuacion de Branson	
	Ecuacion de Flaxman	
	USLE (ecuacion universal de perdida de suelo)	
	MUSLE (ecuacion universal de perdida de suelo modificad)	
	RUSLE (ecuacion universal de perdida de suelo revisada)	
	RUSLE2	

Fuente: elaboración propia

Proceso de erosión hídrica; es un fenómeno que comprende un proceso que consiste en una secuencia de fases ilustradas en la Figura 2. Este proceso se inicia con las precipitaciones lluviosas y la colisión directa de las gotas de agua contra la superficie del suelo. Mediante la transmisión de la energía cinética que portan las gotas de lluvia hacia las partículas del suelo (Cisneros, y otros, 2012).

Figura 2: Proceso de erosión hídrica



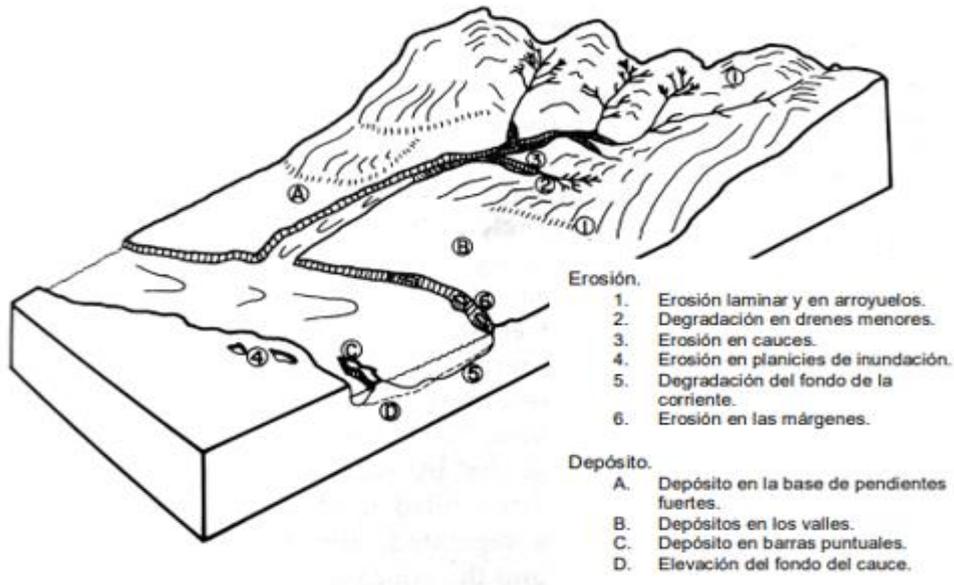
Fuente: Erosión de suelos Rivera Trejo et al, (2006)

Descripción: (A) se inicia la colisión de las gotas contra el suelo, (B) la fuerza (energía cinética) de las gotas causa la segregación de las partículas del suelo, las partículas de agua ocupan los espacios vacíos del suelo aumentando la desagregación de las partículas del suelo, (C) finalmente las partículas desprendidas son trasladadas a través de las escorrentías desde las zonas más elevadas hacia zonas bajas. (Rivera Trejo et al., 2006)

Formas de erosión hídrica de suelos

Erosión Pluvial (por Salpicadura): las precipitaciones impactan sobre la superficie del suelo con una energía cinética capaz de segregar las partículas del suelo; ya sea superficie expuesta sin cobertura vegetal o un suelo cubierto de vegetación causando la segregación y traslado de las partículas finas. Esta erosión a su vez que desprende las partículas superficiales del suelo también compacta las capas expuestas. Removidos y expuestos los agregados son arrastrados por el flujo laminar del agua dejando la capa expuesta sellada. La erosión pluvial disminuye la permeabilidad del suelo y su grado de cohesión. Esta clase de erosión genera un impacto considerable sobre la degradación de suelos pues genera escorrentías que causan la pérdida de sedimentos y el arrastre de volúmenes considerables. (Bienes & Marqués, 2006).

Figura 3: Tipos de erosión de suelos

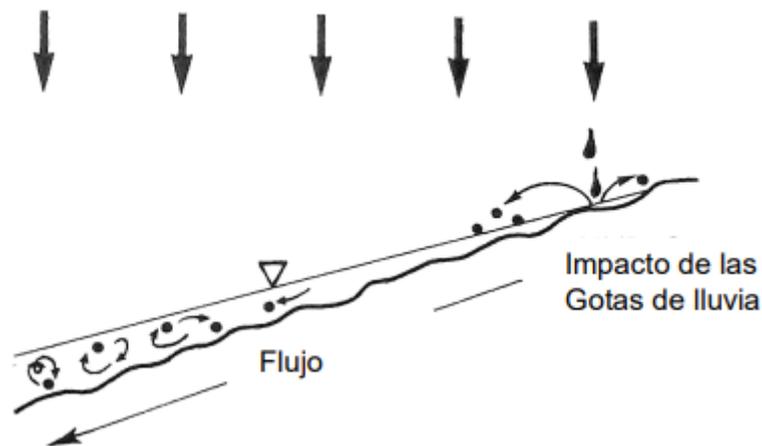


Fuente: Dorbesi & Prieto, (2013)

Erosión Laminar: este tipo de erosión se produce superficialmente luego del impacto de la lluvia. Una capa uniforme, delgada y saturada de toda la superficie es arrastrada como una lámina de suelo muy fina. Una de las propiedades del suelo es la capacidad de infiltración que cuando es excedida por el volumen de lluvia origina la aparición de escorrentías superficiales trasladando los granos segregados del suelo (Dorbesi & Prieto, 2013). Estas escorrentías de agua originan delgados surcos que, según el volumen de agua precipitado, se convierten en cárcavas. Esta erosión no solo causa la pérdida de partículas y los nutrientes que hacen fértil al suelo, sino que reducen la capacidad de conservación de humedad de la superficie del suelo (Bienes & Marqués, 2006). Se manifiesta de manera casi imperceptible sin embargo el aumento del volumen de lluvia y su prolongada acción provocan considerables pérdidas de suelos por ello este tipo de erosión es la más dañina. Al fluir el agua sobre la superficie del suelo arrastra los agregados descompuestos en partículas segregadas que inicialmente fueron generadas por el proceso de salpicadura. Las partículas que comportan una mayor suspensión son los agregados finos como las arcillas y los limos. (Bienes & Marqués, 2006). La erosión laminar también llamada escurrimiento difuso produce mayor efecto cuando

ocurre sobre laderas expuestas, sin cobertura vegetal y dado que las pendientes son escarpadas causan una velocidad de volumen de agua menor a los 30cm x seg⁻¹ (Dorbesi & Prieto, 2013).

Figura 4: Erosion de tipo laminar



Fuente: Duque & Escobar, (2012)

Erosión por Surcos: esta forma de erosion es la más visible debido a los surcos característicos dejados por el flujo del agua. Estos surcos se caracterizan por sus formas irregulares y por la cantidad de agua que los recorre. La erosion por surcos da origen a la aparición de las cárcavas con lo cual el daño al suelo es considerable. Sin embargo, esta forma de erosion es controlable aplicando trabajos de labranza. Cisneros y otros (2012)

Figura 5. Erosión por surcos.

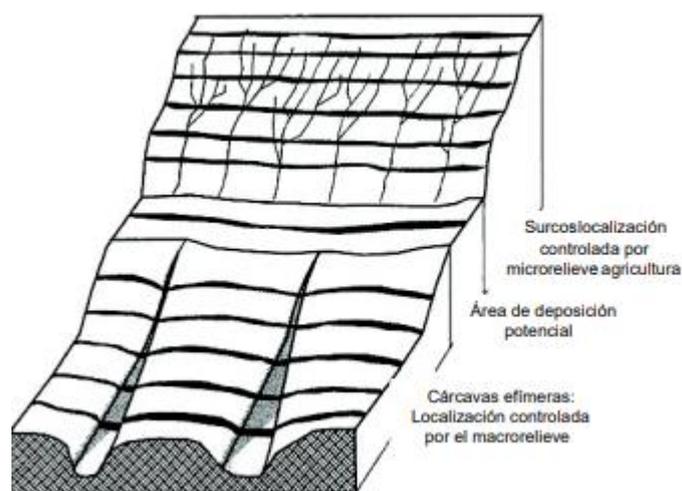


. Fuente: Dorbesi & Prieto, (2013)

Erosión en Cárcavas: esta forma de erosion aparece por el aumento de intensidad del volumen y flujo de agua que afecta los surcos, es una erosion de grado mayor.

Esta erosión depende del grado de escurrimiento y drenaje de las cuencas hídricas, así como del tipo de suelo, sus propiedades y la topografía de la superficie. Una vez que aparecen la cárcava es posible que se generen cauces de aguas haciendo irre recuperable estos suelos mediante trabajos de cultivo. (Wischmeier y Smith, 1975).

Figura 6. Erosión por cárcavas.



Fuente: Meyer y Wischmeier

Método RUSLE (Universal Soil Loss Equation) es la base matemática de la metodología empleada para calcular la magnitud de pérdida de suelos. Fue Wischmeier y Smith en el año de 1962 quienes presentaron, mediante la publicación del Manual 537, el modelo de cálculo que fue avalado por el departamento de agricultura de los EE.UU. (Wischmeier Smith, 1978). Sobre el método matemático USLE se produjo un nuevo modelo modificado. Esta versión fue nombrada como MUSLE (Modific Universal Soil Loss Equation) (Foster, et al 1985). esta nueva versión logro un amplio empleo por parte de aquellos países que sufren erosión hídrica de sus suelos productivos, tal es el caso del continente americano. La ecuación universal RUSLE tiene como base 1, y fue empleada por Renard. Se ~~usa~~ seguidamente:

$$A = R \times K \times LS \times C \times P \quad (1)$$

Sean las variables:

A: Es la cantidad perdida de suelos medida en Tn/ha*año.

R: parámetro de erosividad es el índice de erosión pluvial medida en

hJ^*cm/m^2*hora .

K: parámetro de erosionabilidad del suelo medido en T^*m^*hora/ha^*J^*cm .

LS: la longitud de la cuenca es el parámetro L y la pendiente media de la cuenca está representada por el factor s. su producto es el valor del parámetro topográfico de la ecuación. (Mintegui, 1983) su valor es adimensional.

C: parámetro de cobertura vegetal, este valor expresa la tasa de pérdida de suelos cubiertos por tipos de vegetación y las medidas de regulación de la degradación de los suelos. Este factor es Adimensional.

P: el parámetro que expresa las prácticas de conservación de suelos según las zonas de investigación. Su unidad es Adimensional.

Parámetros de la metodología RUSLE

Factor R (Erosividad): Este parámetro expresa la erosividad de las precipitaciones, mediante un valor numérico se representa la propiedad de la lluvia para degradar el suelo (Wischmeier & Smith, 1978). Este valor numérico se obtiene al realizar el producto entre el intervalo de 30 minutos de intensidad máxima de la tormenta con la totalidad de la energía de la tormenta. Con este valor numérico se obtiene la media anual del índice de erosividad para los eventos pulviales. (Haan, et al.1982). Esta expresión numérica se muestra en la Ecuación 2:

Tabla 2: ecuación 2

$R = \sum (EI30)^j n 1$	
j	va de 1 a "n" tormentas producidas en una estacion correspondiente.
E	energia cinetica total de la precipitación (MJ.ha-1 mm-1)
$E = \sum (ei)(ppi) n 1$	
ei	energia cinetica por milimitro para cada periodo. Unidad Mjha-1 mm-1
e	$0.119+0.0873*\log IM$
IM	intensidad de lluvia para un periodo . Unidad mm/h
ppi	total de milímetros de lluvia precipitados en el tiempo considerado. Unidad mm/h
I30	intensidad maxima cada 30 min evento de precipitación considerada. Unidad mm/h

Fuente: elaboracion propia

Para obtener el factor de erosividad usamos la ecuación 3, ecuación que se emplea en zonas con valores de precipitación altos.

Tabla 3: Ecuacion3

Ecuacion 3 para determinar factor de rosividad en zonas de precipitaciones altas, Morgan (1997)	
$R = I30(9.28P - 8383) / 1000$	
I30	75 mm/h (según indicación de Wschmeier)
P	Precipitación promedio anual; Unidad en mm

Fuente: elaboracion propia

La expresión numérica siguiente determina la torrencialidad media anual con el cual se obtiene el índice de erosividad.

Tabla 4: Ecuación 4

Ecuacion 4 para hallar la precipitación promedio anual y obtener el indice de erosividad, Roose (1995)	
$R = 1.73 * 0.5 * P$	
P	Precipitación promedio anual. Unidad en mm.

Fuente: elaboracion propia

El método de Foster es un procedimiento numérico para determinar el valor de la erosividad, referido por Morgan (1997) y se expresa así:

Tabla 5: Ecuación 4.1

Ecuacion 4.1 para deternnar el indice de erosividad, Morgan (1997)	
$R = 0.276P * I30/100$	
I30	75 mm/h (valor indicado por Wischmeier)
P	Precipitación promedio anual. Unidad en mm.

Fuente: elaboracion propia

Índice Modificado de Fournier (IMF) toma como antecedente las investigaciones realizadas por Fournier. El IMF (Índice Modificado de Fournier) es una ecuación generada a partir de una regresión lineal, habiendo correlacionado previamente los valores calculados de R en base a la media de precipitación anual, Arnoldus (1978).

Tabla 6: Ecuación 5

Ecuación 5 para hallar el índice modificado de Fournier	
$IMF = \sum_{i=1}^{12} p_i^2 P$	
i	Numero del mes.
p	Precipitación promedio mensual (mm).
P	Precipitación promedio anual (mm).

Fuente: elaboracion propia

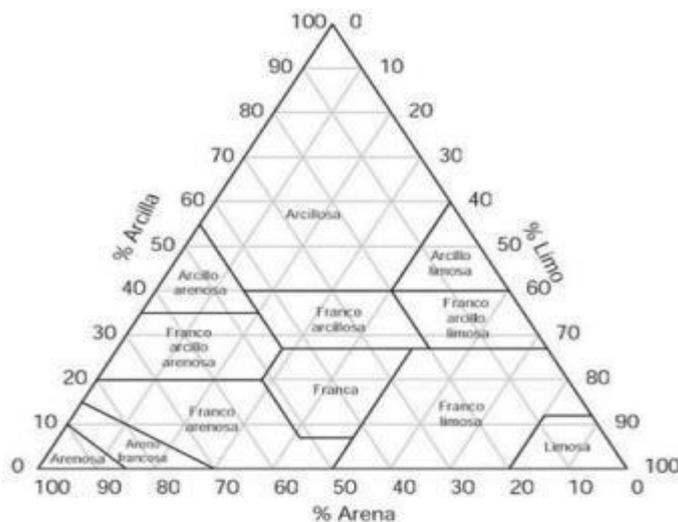
La FAO utiliza el IMF para generar los mapas de erosion de suelos. La consistencia de vinculación de todos los valores de R, empleando el I30 y datos meteorológicos mínimos como uno de sus beneficios principales. La ecuación 5 es de uso globalizado e indispensable dado que logra obtener valores mayores al 0.89 convirtiéndola en aceptable (Ramírez, 2010).

Factor K (Erodabilidad): Este parámetro se expresa mediante un valor que manifiesta la sensibilidad inherente de los suelos. Esta es determinada por las propiedades físicas, mecánicas y químicas del suelo; hay una variedad de suelos con mayor o menor grado erosion pues si se tuviera diferentes tipos de suelo, pero con las mismas condiciones de topografía, precipitación y cobertura vegetal se obtendría índices de erosion distintas. La susceptibilidad a la erosion del agua se gradúa en razón del rango de 0 – 1 donde el menor grado representa un suelo menos susceptible. Los suelos con cohesión uniforme alarga y disminuye la erosion, este suelo deja fluir el agua hacia el interior. Caso contrario son los suelos más erosionables compuestos por partículas dispersas; en este tipo de suelo el no puede infiltrarse ya que los vacíos son obstruidos debiendo fluir hacia la superficie. El material orgánico, así como el contenido de carbono y la propiedad del suelo de permeabilidad son otras variables que determinan el índice de erosionabilidad.

Entre las principales metodologías para calcular el valor de K, tenemos la expresión numérica de Wischmeier & Smith (1978), quienes proponen la ecuación compuesta por cantidades de arena fina y limo, volumen de arena, volumen de materia orgánica, permeabilidad y estructura, indicado en la Tabla de Loredo, Beltrán, Moreno, & Casiano (2007). El método para calcular el valor de K fue aportado por la FAO (Food and Agriculture Organization of the United Nations) para los casos de sectores de estudio que carezcan de la información de los suelos necesario para la utilización

del monograma FAO 1980. Este consiste en emplear los parámetros de clasificación de suelos (Ver Figura 7) y la textura determinada por la UNESCO (Organización de las Naciones Unidas para la Educación, la Ciencia y la Cultura) y IUSS (International Union of Soil Sciences 2007).

Figura 7: tipos de textura básica de suelos según diámetro de partículas.



Fuente: FAO, 1980

Figura 8: Clasificación de la Textura del Suelo

Nombre de los suelos (textura general)	Arena (%)	Limo (%)	Arcilla (%)	Clase textural	Nº	Textura
Suelos francos (textura moderadamente fina)	0-45	0-40	40-100	Arcilloso	1	Fina
	0-20	40-60	40-60	Arcilloso limoso	2	
	45-65	0-20	35-55	Arcilloso arenoso	3	
Suelos arcillos (textura fina)	0-20	40-73	27-40	Franco limoso arcilloso	4	Fina
	45-80	0-28	20-35	Franco arenoso arcilloso	5	
	20-45	15-52	27-40	Franco arcilloso	6	
Suelos francos (textura mediana)	0-20	88-100	0-12	Limoso	7	Media
	20-50	74-88	0-27	Franco limoso	8	
	23-52	28-50	7-27	Franco	9	
Suelos arenosos (textura gruesa)	86-100	0-14	0-10	Arenoso	10	Gruesa
	50-70	0-50	0-20	Franco arenoso	11	
Suelos francos (textura moderadamente gruesa)	70-86	0-30	0-15	Arenoso Franco	12	

Nota. Está clasificada en texturas generales de gruesa, media y fina de acuerdo al porcentaje de arena, limo y arcilla. Fuente: FAO, 1980.

Fuente: FAO, 1980

Figura 9: Valores de erodabilidad (K) según su taxonomía y textura del suelo.

Unidades de suelo de acuerdo a la clasificación de Grupos de Suelos de Referencia (GSR)			Textura		
Código	Tipo de Suelo	Breve Descripción	Gruesa	Media	Fina
AC	ACRISOLES	Muy ácido. Suelos fuertemente meteorizados con baja saturación con bases en alguna profundidad.	0.026	0.04	0.013
AL	ALISOLES	Suelo con baja saturación con bases en alguna profundidad.	0.026	0.04	0.013
AN	ANDOSOLE	Suelos negros de paisajes volcánicos, se desarrollan en eyecciones o vidrios volcánicos bajo casi cualquier clima.	0.026	0.04	0.013
AR	ARENOSOLE	En la zona seca hay poco desarrollo del perfil. Los arenosoles en los trópicos perhúmedos desarrollan horizontes eluviales albicados.	0.013	0.02	0.007
CL	CALCISOLES	Suelos con sustancial acumulación de calcáreo secundario. Los calcisoles típicos tienen un horizonte superficial pardo pálido.	0.053	0.079	0.026
CM	CAMBISOLES	Suelos con, por lo menos, un principio de diferenciación de horizontes en el subsuelo evidentes por cambios en la estructura y color.	0.026	0.04	0.013
CH	CHERNOZEM	Suelos negros ricos en materia orgánica. Horizonte superficial mólico pardo oscuro a negro.	0.013	0.02	0.007
DU	DURISOLES	Suelos fuertemente meteorizados con una capa dura de sílice secundaria (horizonte petrodúrico) o óxidos de sílice secundaria (horizonte dúrico).	0.053	0.079	0.026
FR	FERRALSOLES	Suelos rojos y amarillos tropicales con alto contenido de sesquióxidos.	0.013	0.02	0.007
FL	FLUVISOLES	Suelos desarrollados en depósitos aluviales. Perfiles con evidencia de estratificación, débil diferenciación de horizontes.	0.026	0.04	0.013
GL	OLEYSOLE	Suelos con signos claros de influencia del agua freática. Evidencia de procesos de reducción con segregación de compuesto de Fe.	0.026	0.04	0.013
HS	HISTOSOLE	Suelos de turba y pantanos. La mineralización es lenta y la transformación de restos vegetales a través de la desintegración bioquímica crea una capa superficial de moho.	0.053	0.02	0.007
KS	KASTANOZEMS	Suelos pardos oscuros ricos en materia orgánica. Los kastanozems tienen un perfil similar a los Chernozems pero el horizonte superficial rico en humus es más delgado.	0.026	0.04	0.013
LP	LEPTOSOLE	Suelos someros, finos. Los leptosoles son suelos azoales y particularmente comunes en regiones montañosas.	0.013	0.02	0.007
LX	LIXISOLES	Suelos con diferenciación pedogenética de arcilla (migración de arcillosa) entre el suelo superficial con menor y el subsuelo con mayor contenido de arcilla.	0.013	0.02	0.007
LV	LUVISOLE	Diferenciación pedogenética del contenido de arcilla.	0.026	0.04	0.013
NT	NITISOLES	Suelos tropicales rojos, profundos, bien drenados con un horizonte subsuperficial arcilloso nítico que tiene elementos estructurales de bordes planos o maciformes.	0.013	0.02	0.007
PH	PHAEZEMS	Suelos ricos en materia orgánica. Los phaeozems son muy parecidos a chernozems y kastanozems pero están más intensamente lixiviados.	0.013	0.02	0.007
PL	PLANOSOLE	Suelos con un horizonte superficial de textura gruesa abruptamente sobre un subsuelo denso y de textura más fina, típicamente en tierras planas.	0.053	0.079	0.026
PT	PLINTOSOLE	Fuerte meteorización con segregación subsiguiente de plintita a la profundidad de fluctuación del agua freática o drenaje superficial impedido.	0.026	0.04	0.013
PZ	PODZOLE	Suelos con un horizonte iluvial spódico debajo de un horizonte subsuperficial con apariencia de ceniza y cubierta por una capa orgánica.	0.053	0.079	0.026
RG	REGOSOLE	Suelos débilmente desarrollados en material no consolidado, que no tienen un horizonte mólico o úmbrico, no son muy someros.	0.026	0.04	0.013
LX	SOLONCHAKS	Suelos salinos. Desde débil a fuertemente meteorizados, muchos Solonchaks tienen un patrón de color gleyico a cierta profundidad.	0.053	0.079	0.026
LV	SOLONETZ	Suelos con alto contenido de Na y/o Mg intercambiables.	0.053	0.079	0.026
UM	UMBRISOLES	Suelo superficial oscuro. Horizonte superficial úmbrico o cámbico con baja saturación de bases.	0.026	0.04	0.013
VR	VERTISOLES	Suelos muy arcillosos, que se mezclan, con alta proporción de arcillas expansibles. Estos suelos forman grietas anchas y profundas cuando se secan.	0.053	0.079	0.026

Fuente: FAO 2019

Factor LS (Topográfico): la longitud de la cuenca y la pendiente media de las laderas son los parámetros más determinantes en el índice de erosión de suelos. Entre mayor sea el grado de la pendiente mayor será la fuerza de arrastre del agua. Así mismo el tipo de relieve del suelo ocasiona una mayor o menor generación de sedimentos en las vertientes de las cuencas. Las unidades con la que se integra la ecuación son adimensionales. El parámetro L se calcula mediante el cociente entre la longitud media de las laderas y el índice de erosión anual. El parámetro S se consigue al efectuar el cociente entre el índice de erosión sobre un área de pendiente determinada. Mediante el trabajo topográfico es posible obtener dos de

los factores de la ecuación universal RUSLE y al generar el producto entre ambos se obtiene la variable Ls, (Renard et al., 1994). La expresión matemática 6 se utiliza para obtener el valor de LS.

Tabla 7: Ecuación de Jiang y Zheng

$LS = 1.07(\lambda /20)0.28(\alpha /10e) 1.45$	
L	factor de longitud
S	Fator de inclinacion
λ	Longitud de toda la pediente en toda la proyeccion horizontal

Fuente: elaboracion propia

Unidad: mα: Ángulo de inclinación. Unidad: °

La siguiente ecuación ha sido elaborada como producto de los factores L y S, con los cuales se calculará la erosión de suelos.

Tabla 8: Ecuación de Wischmeier y Smith

$LS = (\lambda 22.13) m x(0.065 + 0.045s + 0.0065s^2)$	
L	Factor de longitud de la pendiente
λ	longitud de la pendiente (m)
m	Coeficiente (relacion entre erosion en surcos y entresurcos)
S	Gradiente de la pendiente (%)

Fuente: elaboracion propia

Figura 10: Valores del sub factor "m"

"Grado de la pendiente" (%)	"Valores de m"
< 1	0.2
< 3 - > 1	0.3
< 5 - > 3	0.4
> 5	0.5

Fuente: Wischmeier & Smith, (1978).

Nota: La tabla mostrada contiene los rangos de "m" respecto al valor de la gradiente.

Factor C (Cobertura Vegetal) Este parámetro está determinado por la cobertura vegetal que pueden ser de distinta especie, esta cobertura funciona como una capa que protege el suelo de la fuerza de impacto de las gotas de lluvia y la fuerza de arrastre de las escorrentías sobre la superficie del suelo (González del Tánago, 1991). La densidad de la vegetación, la cobertura forestal, el coeficiente de

rugosidad de la superficie, el contenido de humedad de los suelos son los parámetros que determinan el valor del factor C. dado que la variedad y complejidad de estos factores sumado a la variabilidad anual son dificultosos y costoso de determinar. Al ser tan complejo obtener este dato es más idóneo recurrir al uso de raster. La figura 11 indica la clasificación según Gonzáles del Tánago, (1991).

Figura 11: Factor C según la Cobertura Vegetal

Código	Tipo	Contenido	Factor "C"
10	Tierra Cultivada	Las tierras utilizadas para la agricultura, horticultura y jardines	0.63
20	Bosque	Tierras cubiertas de árboles, con cubierta vegetal más del 30 %	0.003
30	Pradera	Terrenos cubiertos de césped natural con una cubierta más del 10%	0.09
40	Matorral	Tierras cubiertas de arbustos con una cubierta de más del 30%	0.22
50	Humedal	Tierras cubiertas de plantas de humedales y cuerpos de agua	0
60	Cuerpos de Agua	Las masas de agua en la superficie terrestre	0
70	Tundra	Hierbas y arbustos en las regiones polares	-
80	Superficies Artificiales	Tierras modificadas por las actividades humanas	0.09
90	Tierra Desolada	Tierras con cubierta vegetal inferior al 10%	0.5
100	Nieve y Hielo Permanente	Tierras cubiertas por la nieve permanente y la capa de hielo	0

Nota. En la siguiente tabla tenemos los valores de los factores de C, basados en la clasificación del GLC y una reclasificación de los valores del factor. Fuente (Gonzáles del Tánago, 1991)

Fuente: Wischmeier & Smith, (1978).

Factor P (Prácticas de Conservación de Suelos): El parámetro P sintetiza todas aquellas prácticas que tengan como fin la conservación de los suelos por las acciones comunales y el despliegue de la vegetación mediante curvas de nivel (fajas o terrazas). Estas variables afectan directamente al índice de degradación de suelos. Este parámetro modifica incrementando o reduciendo la longitud de inclinación efectiva en las escorrentías como se muestran en la tabla.

Figura 12: factor de Prácticas de Conservación de Suelos.

Pendiente (%)	Contorno	Cultivo en franjas	Terraza
0.0 - 7.0	0.55	0.27	0.10
7.0 - 11.3	0.60	0.30	0.12
11.3 - 17.6	0.80	0.40	0.16
17.6 - 26.8	0.90	0.45	0.18
26.8 >	1.00	0.50	0.20

Fuente: Kim, (2006)

Herramientas Geospaciales

El sistema de información geográfica SIG (GEOGRAPHIC INFORMATION SYSTEMS). Este sistema de información es un recurso técnico y de confiabilidad que

se utiliza para obtener datos georreferenciados, esto significa que todos los datos poseen una ubicación geográfica; con esta herramienta digital se utiliza para lecturas geográficas, edición, compilación, análisis y gestión. Estos trabajos pueden ser de alta complejidad y de información elemental de datos espaciales. Mediante esta herramienta digital se genera mapas digitales, modelado de superficies, gráficos de análisis e informes de datos requeridos según los trabajos realizados. La data contenida en el SIG proporciona propiedades reales de todos los componentes existentes en el planeta como, por ejemplo: vías, tipos de suelos, elevaciones, curvas de nivel entre otros. El registro y almacenamiento de la información digital en extensiones raster y vectorial; para el estudio y análisis cuantitativo de la información geoespacial de los diversos fenómenos que supone el planeta como datos de posición, distancias, elevación. Wilson, Matisova, & Wright, (2000) señalan que el uso del recurso hídrico demanda un amplio rango de información geoespacial, como la topografía, clasificación de suelo, practicas del uso del suelo y clima. El GIS como base de datos y el modelado hidrológico son las herramientas que permiten calcular resultados del control y manejo de los recursos hídricos. El software de modelamiento y de cálculo QGIS (SOFTWARE QUANTUM GIS) es una herramienta de GIS, elaborada a partir de un software free. Este programa fue diseñado en la empresa Open Source Geospatial Foundation (OSGeo) (Open Source Geospatial Foundation - OSGeo, 2021). Este software proporciona múltiples tipos de información mediante sus funciones básicos y la de sus complementos. Esto ha permitido identificar, gestionar, tratar, analizar y calcular datos, así como diseño de mapas digitales, así mismo entre las principales funciones está la compatibilidad para el formato geoespacial ORACLE Spatial, SpatialLite y PostGIS, el cual proporciona soporte digital de elemento geográficos sobre un grupo de datos para transformar en una data geoespacial. También se elaboran mapas basados en formatos shapefile, Scss, ráster (celdas) o formatos vectoriales lineales y poligonales, trabajando con formatos de apoyo tipo Arclno, Landsat, GIS, Hec-hms, MapInfo, TIFF, JPG, GeoTIFF, y otros más, así mismo es posible la ejecución de este software en sistemas operativos alternativos a Windows, tal es el caso Linux, Mac, Unix, GNU y otros. (Gerak, 2020).

Modelo HEC-HMS

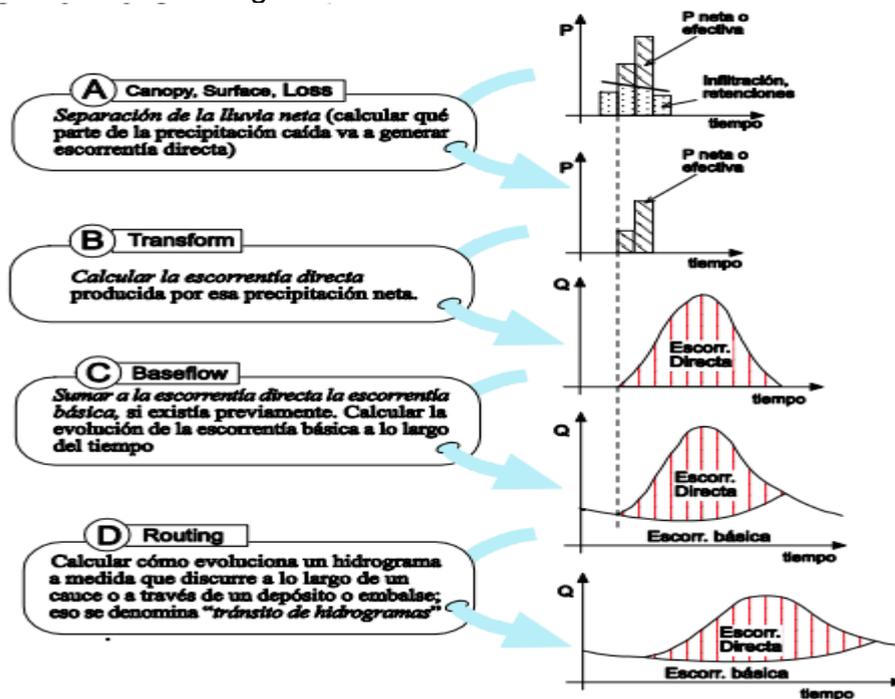
El HEC-HMS es un potente software de modelamiento hidrológico creado para el análisis de cuencas y subcuencas. No es un método específico; este modelo permite emplear diversos tipos de métodos para el cálculo de una misma variable, estos métodos pueden ser complementados entre sí, o elaborar una metodología específica en base a la combinación de diversas metodologías de estimación hidrológica. Este modelo fue desarrollado por el U.S. Army Corps of Engineers con el fin de poder analizar las cuencas hidrográficas y sus principales fenómenos. Este software puede modelar precipitaciones con una simulación continua o también modela los eventos pluviales para eventos específicos. El HEC-HMS analiza los datos de precipitación de manera directa generando su propia base de datos a partir de la cual el modelo analiza los distintos procesos hídricos de una cuenca. Sus principales usos inicialmente en sus versiones 3.5, 4.2 y 4.5 fueron para estimar procesos como la evapotranspiración de los suelos como de la vegetación existente, el flujo de escorrentía superficial y subsuperficial, la erosión de los suelos y el transporte de los sedimentos, volumen de sedimentos y el análisis de represas. Este modelo este compuesto por una amplia base de métodos hidrológicos y expresiones algebraicas de cálculo. A diferencia de la aplicación del método RUSLE el cual depende del Hydraccess para el procesamiento de precipitaciones, del Hidroesta 2 para la elaboración del cálculo del índice de precipitación media y al ArcGis para elaboración de mapas de procesos hidrológicos, el HEC-HMS produce su propio análisis de precipitaciones y elabora sus mapas de cuencas a partir de una suma de métodos con lo cual es posible salvar los límites de cálculo que presentan individualmente cada método, como es el caso del método RUSLE que no considera variables como la evapotranspiración y el flujo de escorrentía subsuperficial. A continuación, presentamos un cuadro con los principales métodos del HEC-HMS.

Tabla 9: Factor de Prácticas de Conservación de Suelos.

Proceso hidrológico	Metodos
Presencia de vegetacion (Factor C)	Dynamic Canopy
	Gridded simple Canopy
	Simple Canopy
Perdidas hidricas y de suelos (Factor K)	Deficit and Constant Loss
	Exponential Loss
	Green and Ampt Loss
	Gridded Deficit Constant Loss
	Gridded Green and Ampt Loss
	Soil Moisture Accounting
Análisis de precipitaciones (Factor R)	Evapotranspiracion
	Prediccion de flujo
	Escorrentia
	Infiltracion

Fuente: Elaboración propia

Figura 13: Modelación HEC-HMS.



Fuente: Manual HEC-HMS, (2021)

Parámetros para el cálculo de la erosión de suelos

Volumen de sedimentos: esta variable se refiere a la cantidad de suelo que puede ser removido durante una precipitación y dependiendo de la fuerza de escorrentía se producirá su traslado hacia otras zonas de la cuenca. El HEC-HMS es capaz de calcular el Bed Load o suelo sedimentado generando un modelo sedimentológico que permite estimar que volumen de suelo fue removido por la fuerza de penetración de las gotas. Para determinar este parámetro es necesario conocer el índice de desprendimiento de suelos por efecto del impacto de lluvias. El desprendimiento puede ser por flujo de escorrentía, o por impacto. Para este análisis se cuenta con las siguientes ecuaciones.

Figura 14: ecuación desprendimiento por impacto.

$$D_i = aP$$

$$h_{\max} = 3 \cdot (2,23 \cdot P^{0,182})$$

Fuente: Foster et al (1985)

Figura 15: ecuación desprendimiento por flujo.

$$D_f = K \cdot (a\tau - \tau_c)^b$$

Fuente: Foster et al (1985)

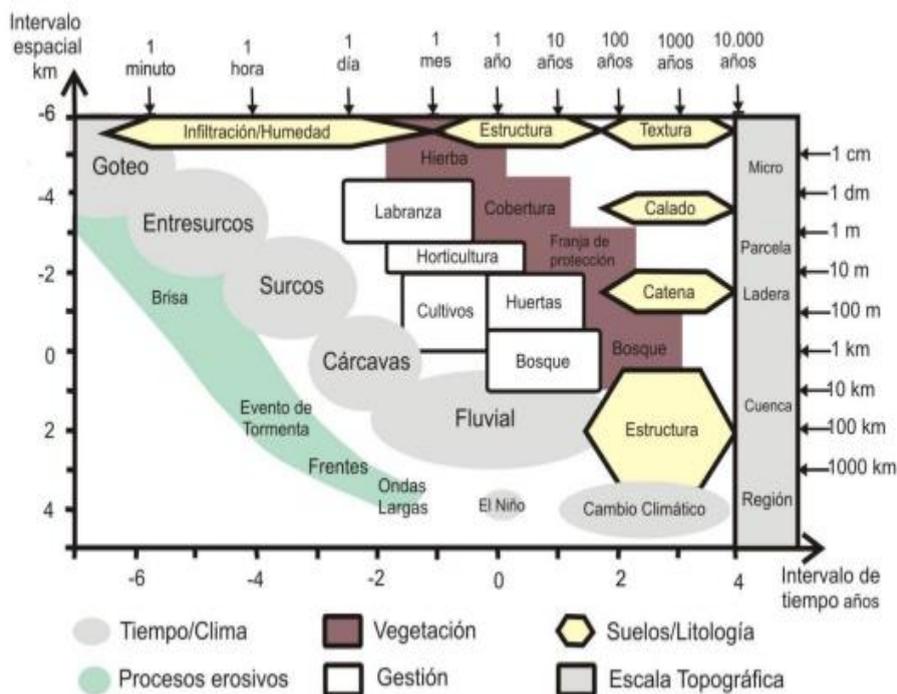
Tabla 10: Modelos sedimentológicos.

Modelo	Ecuacion
Engelund Hansen (1967)	$C_{max} = 0.05 \left(\frac{\gamma_s}{\gamma_s - 1} \right) \frac{u \cdot S}{\sqrt{(\gamma_s - 1) \cdot g \cdot d}} \left(\frac{R_h \cdot S}{(\gamma_s - 1) \cdot d} \right)^{1/2}$
Formulacion de Yang (1973)	$\log C_{max} = 5,435 - 0,286A_p - 0,457B_p + C_p D_p$ $A_p = \log \left(\frac{v_s d}{v} \right)$ $B_p = \log \left(\frac{u^*}{v_s} \right)$ $C_p = 1,799 - 0,409A_p - 0,314B_p$ $D_p = \log \left[\frac{S \cdot u}{v_s} - \frac{S \cdot u_c}{v_s} \right]$

Fuente: Elaboración propia

Perdida de suelos: el HEC-HMS modelo el proceso de erosión hídrica proporcionando información cuantificable de la pérdida de suelos causada por las precipitaciones. Entre los diversos modelos existentes este programa es capaz de incluir variables de cálculo más específicas que no están considerados en el método RUSLE ni en ninguna de sus versiones sucesivas. La Ecuación de RUSLE involucra los cinco parámetros base (erosividad, erodabilidad, topográfico, cobertura vegetal y conservación de suelos) con los cuales estima el porcentaje de pérdida de suelos en un periodo de tiempo anual mientras que el HEC-HMS puede estimar periodos de retorno mensuales y diarios. Además de los parámetros RUSLE también se toma en cuenta variables como la infiltración de lluvia, evapotranspiración vegetal, Lag time (tiempo de encharcamiento), flujos de escorrentías en canales y laminares, en resumen, el HEC-HMS representa un modelo mucho más completo de los procesos de erosión hídrica en comparación por el método más usada actualmente en nuestra región: la ecuación RUSLE. Este nuevo modelo constituye una herramienta de base física que logra obtener la distribución consistente de la variabilidad del fenómeno de erosión.

Figura 16: descripción de parámetros de erosión espacio temporales



Fuente: Renschler y Harbor (2002)

Desplazamiento de sedimentos: el traslado de los sedimentos es causada tanto por factores geomorfológicos como hidrológicos, es decir el factor topográfico manifestado en la longitud de la pendiente y la pendiente media junto con la escurrentía de las precipitaciones determinan la distancia que puede ser trasladado los sedimentos. El HEC-HMS desarrolla una complementación entre varios métodos de cálculo, elabora un modelo físico por sectores logrando una distribución consistente de las propiedades y condiciones del proceso hidrológico. Utilizando como base el modelo completo de Rutter et al, (1971, 1975) el HEC-HMS estima el desplazamiento de sedimentos.

Figura 17: Ecuación de desplazamiento de suelos

$$\frac{dw}{dt} = Q - ke^{b(w-s)}$$

Donde

$$Q = \begin{cases} pp'P - pp'E_p \frac{w}{S}, & w < S \\ pp'P - pp'E_p, & w \geq S \end{cases}$$

Y

$$pp' = \begin{cases} pp', & p' \leq 1 \\ p, & p' > 1 \end{cases}$$

Fuente: Manual HEC-HMS

W: Cantidad de agua acumulada en cubierta

S: capacidad máxima de acumulación

P: índice de precipitación

p: proporción de cobertura vegetal del suelo

pp': relación entre área de hojas y área de cobertura vegetal.

Ep: índice de evapotranspiración.

K y b: variables de drenaje.

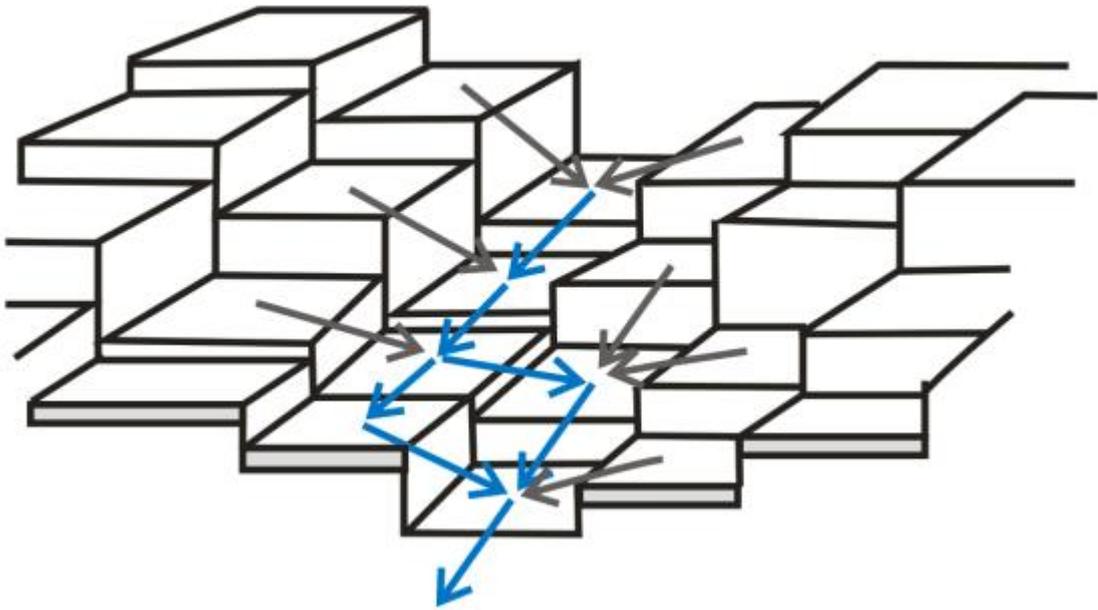
T: periodo de tiempo

Tabla 11: ecuaciones para calcular el transporte de sedimentos

Posicion	Ecuacion	Tipo
1	Yang (1973)	Bed material load
2	Laursen (1958)	Bed material load
3	Ackers y White (1973)	Bed material load
4	Engelund y Hansen (1967)	Bed load
5	Bagnold (1956)	Bed material load
6	Meyer-Peter y Muller (1948)	Bed load
7	Yalin (1963)	Bed load

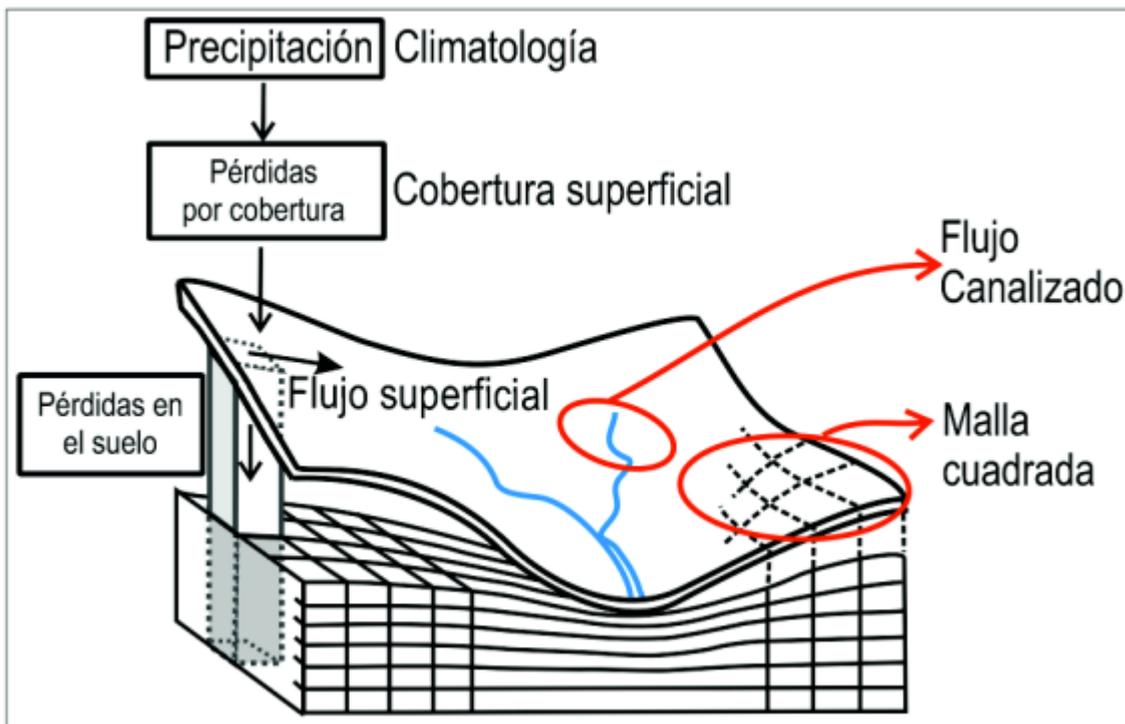
Fuente: Graf y Simoes (2008)

Figura 18: Desplazamiento de sedimentos a través de las celas HEC-HMS



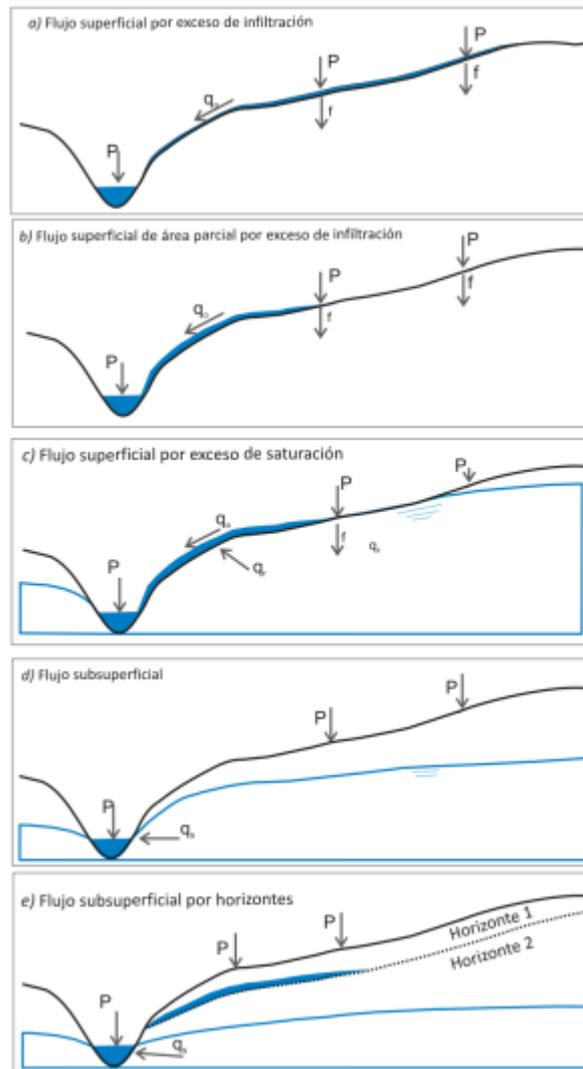
Fuente: Rojas et al (2003)

Figura 19: Diagrama esquemático de escorrentía en HEC-HMS.



Fuente: Bathurts et al (1995)

Figura 20: clasificación de modelos de escorrentía.



Fuente: Beven (2001)

III. METODOLOGIA

3.1 Tipo y diseño de investigación.

Por el enfoque; Las investigaciones según el enfoque pueden ser cuantitativo o cualitativo. Gómez 2016 define la investigación cuantitativa como aquella que “utiliza la recolección de datos y el análisis de datos para contestar preguntas de investigación y probar hipótesis establecidas previamente...”

Por ello según la definición señalada esta investigación es de enfoque cuantitativo ya que su variable independiente y dependiente poseen indicadores numéricos.

Por el propósito; La investigación según el propósito es básica o aplicada, según Lozada (2014) la investigación aplicada se define como “...un proceso que permite transformar el conocimiento teórico que proviene de la investigación básica en conceptos, prototipos y productos, sucesivamente” (p, 38). Por lo expuesto en el presente trabajo de investigación es de tipo **aplicada** porque a partir de la ecuación universal de la pérdida del suelo se elabora mapas de riesgo de erosión hídrica que servirán para proponer políticas sobre el control de erosión hídrica.

Por el nivel de investigación; Para Hernández, 2014, la investigación explicativa es “estudios explicativos que van más allá de la descripción de conceptos o fenómenos o del establecimiento de relaciones entre conceptos; es decir están dirigidos a responder por las causas de los eventos y fenómenos físicos o sociales” (p. 95). El nivel de investigación de este proyecto es **explicativo** pues analizará los 05 factores más importantes que inciden para la cuantificación de la pérdida de suelos por erosión hídrica.

Por el Diseño de investigación; “Los diseños investigación cuasi experimental se aplican a situaciones reales en los que no se pueden formar grupos aleatorizados, pero pueden manipular la variable experimental...” según Hernández 2006, (p.) La investigación hecha se define como **cuasi experimental** pues interviene en la variable independiente, siendo la precipitación media mensual, topografía del suelo, la cobertura vegetal son algunas de las variables independientes. Con la cual se generará la cuantificación de la pérdida de suelo por erosión hídrica que es la variable dependiente.

3.2 Variables y operacionalización

Las variables de esta investigación son:

La variable independiente; La erosión hídrica. Definición conceptual: la erosión hídrica es el fenómeno de degradación superficial de los suelos, la segregación de sus partículas por acción del impacto de las gotas de lluvia y el transporte de los sedimentos desprendidos.

La variable dependiente: La ecuación RUSLE y el modelo HEC-HMS. Definición conceptual: RUSLE es la ecuación universal de pérdida de suelos basada revisada, es una expresión matemática en base al producto de los parámetros R, K, LS, C y P. el modelo HEC-HMS es un software de cálculo en base a una complementación de métodos y ecuaciones varias, es una metodología analítica computacional.

Operacionalización de variables

La matriz de consistencia se adjunta en el anexo 03 y la matriz de operacionalización de variables en el anexo 04.

3.3 Población, muestra y muestreo

Población: Para Arias (2006) se define como población a “un conjunto finito o infinito de elementos con características comunes para los cuales serán extensivas conclusiones de la investigación.” (p. 81). Para el trabajo de investigación se tomará como población, la cuenca del río Pativilca y las estaciones pluviométricas ubicadas en dicha cuenca.

Muestra: La muestra se define, según Hernández et al., 2014, “[...] es un subgrupo de la población de interés sobre el cual se recolectarán datos, y que tiene que definirse y delimitarse de antemano con precisión, además de que debe ser representativo de la población p. 173. En concordancia con la definición expuesta el presente trabajo de investigación utiliza una **muestra no aleatoria** definida por los requerimientos normativos. La muestra es la subcuenca del río Ocros, Ancash-|variabilidad topográfica, precipitación y geología y edafología del suelo.

Muestreo: El muestreo no probabilístico o dirigido, “selecciona casos o unidades, por uno o varios propósitos no pretende que los casos sean estadísticamente representativos de la población” la elección de los elementos no depende de la probabilidad, sino de causas relacionadas con las características de la investigación

o los propósitos del investigador (Johnson, 2014). Es considerado como un muestreo no probabilístico porque todas las zonas de la cuenca alta, baja e intermedia se incorporaron en la cuantificación de erosión hídrica

3.4 Técnica e instrumentos de recolección de datos

Técnica de recolección de datos

Esta investigación se enfocará según la **Observación Directa**: los autores Hernández, Fernández y Baptista (2006: 316), manifiestan que: “la observación directa consiste en el registro sistemático, válido y confiable de comportamientos o conducta manifiesta”. Mediante esta técnica todo investigador podrá realizar una observación y registrar datos mediante su propia observación.

Instrumento de recolección de datos

El instrumento de recolección de datos se define, según Arias 2019 como: “...cualquier recurso, dispositivo o formato (en papel o digital) que se utiliza para obtener, registrar o almacenar información” (p. 68). Se consideró el análisis de documentos como imágenes satelitales, archivos shapes de uso de suelos, información meteorológica concerniente a precipitación del SENAMHI (PISCO) e información de la Zonificación Ecológica y Económica de la región Ancash; asimismo de la zona de estudio se adquiere archivos DEM que se extrae de la página de ALOS PALSAR.

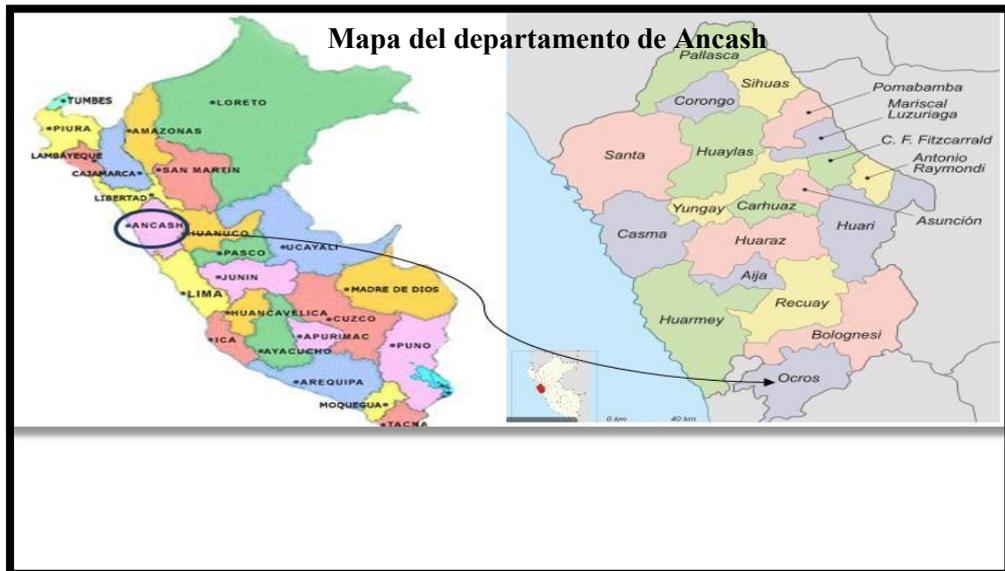
3.5 Procedimiento

Etapa 1: Descripción de zona de investigación: Subcuenca del río Ocos

Ubicación Geográfica

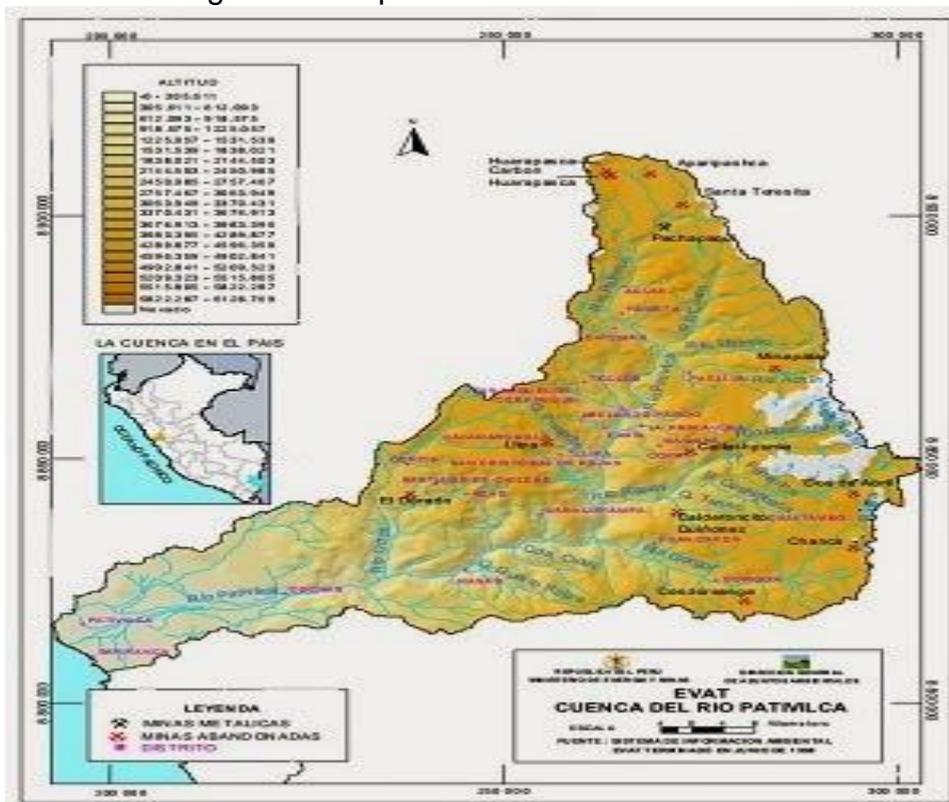
la subcuenca del río Ocos se ubica en la provincia de Ocos, departamento de Ancash, en las siguientes coordenadas; Latitud: -10.4558 y Longitud: -77.433. La provincia se localiza en una elevación media de 3.230 msnm., en el sector Callejón de Huaylas, cordillera Nor-Oriental y cuyas coordenadas UTM son 10°24'00" Latitud Sur, 77°23'46" Longitud Oeste.

Figura 21: Mapa ubicación de la provincia de Ocos



Fuente: Instituto Geográfico del Perú

Figura 22: Mapa de ubicación del río Ocos



Fuente: Visor de autorizaciones de vertimientos, ANA, SNIRH

Ubicación Hidrográfica

La subcuenca del río Ocos se encuentra dentro de la cuenca del río Pativilca, y este a su vez a la vertiente del Pacífico. Se localiza dentro del valle del Río Grande y del Río Chico que abastecen de agua los márgenes y sus predios en la zona Janque alto y bajo.

Figura 23: Mapa de subcuenca del río Ocos.

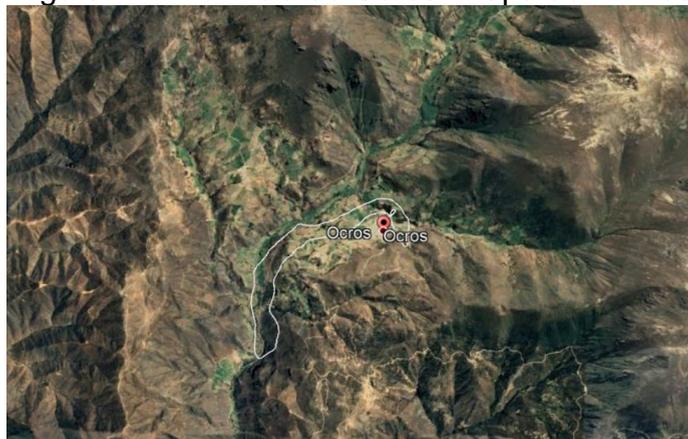


Fuente: Instituto Geográfico Nacional

Demarcación Política

el distrito de Ocos es una comunidad peruana ubicada en lado sur del departamento de Ancash. Limita por el norte tanto como el este con la provincia de Bolognesi y por el sur, así como con el oeste con la región de Lima.

Figura 24: Provincia de Ocos- Mapa de Limites



Fuente: Google Earth.

Ubicación Administrativa

La delimitación política, jurisdiccional y administrativa se funda propiamente en el periodo de la Independencia, en este periodo se forman por primera vez los departamentos con sus respectivas provincias y a su vez estas provincias con sus distritos, los departamentos fundados fueron Trujillo, Tarma, Huaylas y La Costa durante el periodo de independencia. el Perú se ordenó en 11 departamentos por decreto supremo durante la independencia: Lima, Tarma, Trujillo, La Costa, Arequipa, Huaylas, Cuzco, Puno, Huancavelica, Ayacucho y Maynas, con el tiempo de unificaron los departamentos de Tarma y Huaylas tomando la denominación de Huánuco. con el decreto de 12 de junio de 1835, se volvió a fundar el departamento de Huaylas con sus provincias de Huaylas, Cajatambo, Conchucos y Santa. Y finalmente en el decreto del 28 de febrero de 1839 se modificó el nombre al departamento por el de Ancash.

Figura 25: Capitales distritales

DISTRITO	Calificación de Creación				CAPITAL
	Categoría	Dispositivo Legal			
		Nombre	Numero	Fecha	
Ocos	Ciudad	-	-	Época Ind.	Ocos
Acas	Pueblo	Ley	S/N	02/01/1857	Acas
Cajamarquilla	Pueblo	Ley	581	23/10/1907	Cajamarquilla
Carhuapampa	Pueblo	Ley	9392	30/09/1941	Aco
Cochas	Pueblo	Ley	S/N	02/01/1857	Huanchay
Congas	Pueblo	Ley	9862	13/12/1943	Congas
Llipa	Pueblo	Ley	12856	15/11/1957	Llipa
San Cristóbal de Rajan	Pueblo	Ley	12128	15/10/1954	Rajan
San Pedro	Villa	Ley	10174	17/01/1945	Copa
Santiago de Chicas	Pueblo	Ley	13034	19/11/1958	Santiago de chिकास

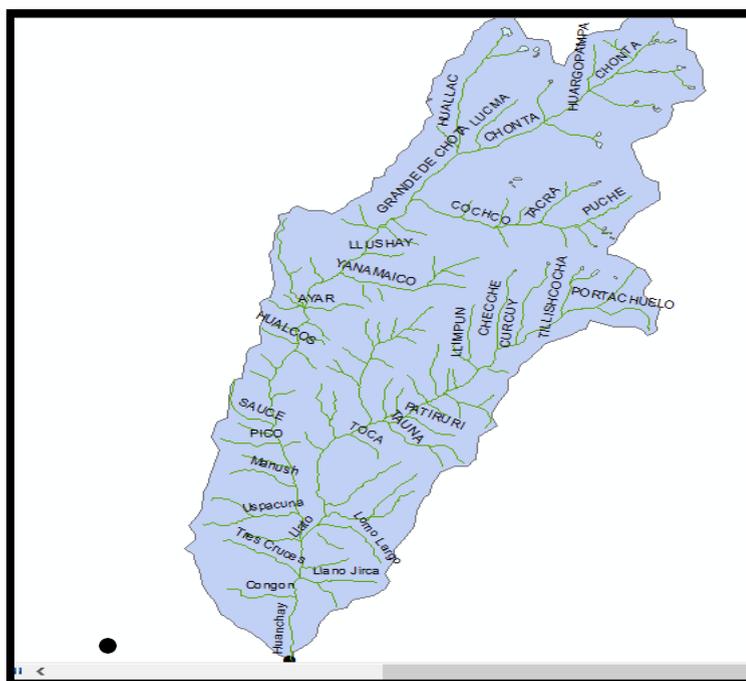
Fuente: INEI – Almanaque de Ancash 2001-2002.

Parámetros Geomorfológicos

Delimitación de la cuenca

El estudio hidrológico realizado a la subcuenca del río Ocos se realizó primero delimitando la subcuenca con ayuda de un SIG con la data de las cartas nacionales y conocimientos de la ubicación del río de Ocos. Esta delimitación depende de las curvas de nivel, además, en todo su contorno no se corta ningún río o quebrada, solo en el punto de salida. Por medio del programa ArcGis se realizó la delimitación de la cuenca.

Figura 26: Delimitación de la subcuenca Ocos realizada en ArcGis



Fuente: Elaboración Propia

Área total de la subcuenca: empleando el software ArcGis se generó la proyección horizontal del geode en la zona de la subcuenca y delimitar el área plana total determinada por la divisoria topográfica. La unidad de medida es kilómetros cuadrados (Km²). El área total fue:

Figura 27: Área total de la subcuenca (km^2) obtenida mediante ArcGis.

CUENCA_SHP					
FID	Shape *	Id	gridcode	AREA	
0	Polygon ZM	1	0	473.034553	

Fuente: Elaboración propia

Perímetro total de la subcuenca: el perímetro geográfico de la subcuenca esta definido por la divisoria topográfica o divisoria de aguas. La longitud de toda la extension lineal de la divisoria es medida desde un punto inicial y recorriendo toda la extension hasta volver al punto de inicio. El valor del perímetro se expresa en unidad de Kilómetros lineales (km). Mediante el ArcGis se determinó un perímetro de 120.402068 km

Figura 28: Perímetro de la subcuenca (km) obtenido mediante ArcGis.

AREA	Perimetro	Cota_minim	Cota_maxim
473.034553	120.402068	700	5069.29541

Fuente: Elaboración Propia

Longitud total de la subcuenca: Es la distancia en línea recta, medida en Km, que comprende desde el origen de la subcuenca hasta la desembocadura de la subcuenca o también se puede tomar el punto opuesto más alejado del perímetro. Empleando el ArcGis se determinó que la longitud total de la subcuenca es 53.784km

Figura 29: Longitud total de la subcuenca (km) obtenido mediante ArcGis.



Fuente: Elaboración Propia

Ancho de la cuenca: Es el cociente entre la longitud de la cuenca y el área de la cuenca, esta relación entre estos dos valores permite generar el rectángulo equivalente de la cuenca. relación entre el área y la longitud de la cuenca. En la siguiente tabla se muestra el resumen de los parámetros de la cuenca y su ancho calculado.

Tabla 12: resumen de las características de la subcuenca Ocros

DATOS DE LA SUBCUENCA	
Superficie (At)	473.03 km ²
Perimetro (P)	120.40 km
Longitud (L)	53.78 km
Ancho (B)	8.80 km

Fuente: Elaboración Propia

Parámetros Hidrográficos

Principales Unidades Hidrográficas

Ríos: El río Ocros se origina a partir de riachuelos pequeños y laderas con quebradas poco escarpadas. El río tingo proveniente de los cerros y de la quebrada de Huallac tiene un cauce que riega los márgenes izquierda y derecha. Rancayán es el primer canal que riega un área de los terrenos Oncoy y Bellavista, abastecidas por los canales de Rancayán.

Lagunas: Índice de lagunas o cochas: Se enumeraron un total de 21 lagunas en la subcuenca del río Ocros. Inventario de lagunas en el anexo 5

Recursos hídricos superficiales

Canales de riego

Tabla 13: Canales ubicados en la subcuenca del río Ocros

Canales de riego		
Zona	Ubicación	Denominación
Pate baja	Río Grande y Río Chico	Acequia Ushpacuna, Caracha Bajo, Caracho Alto, Yerbabuena y soledad
Parte Alta 1	Río Grande	Acequia Curcuy, Lirio de Pampa, Huanqui, Uchpacoto y Rancayan.
Parte Alta 2	Río Bravo	Acequia Manantial, Bajo, Alto, Argentó, Tacrara
Parte Alta 3	Río Seco	Acequia Manta, Chincheros bajo y alto, Bellavista alto
Parte Media	Río Bravo y Río Ollero	Acequia Bajo, Alto, Tararire y Toma de Lonchas

Fuente: elaboración propia

GEOMORFOLOGÍA

Formaciones Geomorfológicas

El Gobierno Regional de Ancash, en 2014, realizó un estudio geomorfológico con la Carta Nacional.

Tabla 14: sectores y cartas nacionales

carta nacional	sector
21-h	Huayllapampa
21-i	Chiquian
21-h	Barranca
21-i	Ámbar

Fuente: elaboración propia

Utilizando la escala 1:100,000 del IGN, el modelo geomorfológico del departamento de Ancash y su descripción presentada por la DNTDT sobre la escala 1:100000, shapfiles e imágenes landsat, y el software Arcgis 10.1. La región de Ocos, comprende en su geomorfología diversos Valles Intermedios, Valles Estrechos o Encañonados, estribaciones Montañosas y extensiones altiplánicas, efecto de una larga evolución geomorfológica, el grado de erosión que ha sufrido el suelo después que se formaron, originando quebradas en forma de V conocidas como valles, también se han formado profundas con riscos y acantilados escarpados por donde el cauce del agua se precipita torrenciosamente por el sentido del cañón.

Figura 30: Unidades geomorfológicas de la subcuenca Ocros

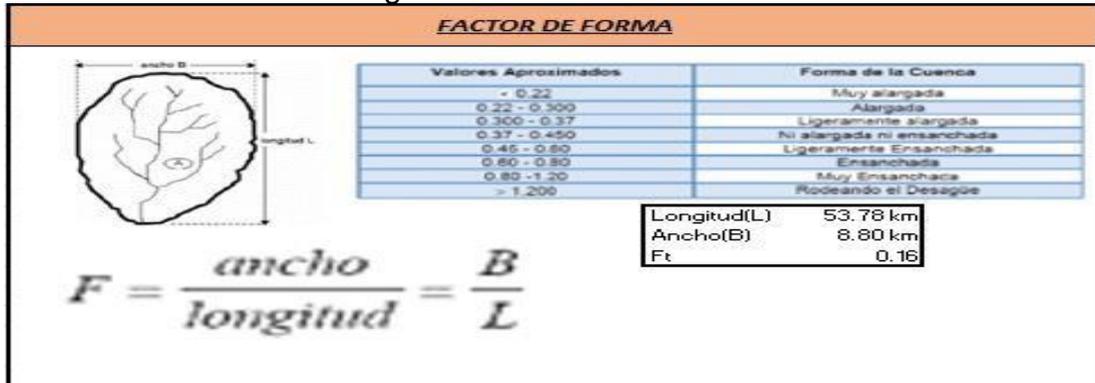
OCROS: RESUMEN DE UNIDADES GEOMORFOLOGICAS Y SU DISTRIBUCION			
UNIDAD GEOMORFOLOGICA	FACTORES GEODINAMICOS	FORMAS ORIGINADAS	MORFODINAMICOS
Valle Estrecho	hidrológicos, Climatológicos.	Laderas subandinas, llanura aluvial, de piedemonte, escurrimiento, coluvio de remoción, cono de derrubio, cono de deyección, abanico aluvial, valle aluvial encajonado, terrazas erosionales, cañón.	Erosión de laderas contiguas, escurrimiento difuso, disección de ladera, socavamiento de cauce.
Valle Intermedio	hidrológicos, climatológicos, antrópicos.		Erosión fluvial, socavamiento y excavación de taludes y acumulación aluvial, erosión de laderas contiguas, inundabilidad, desborde de cauces, retroceso de riberas, escurrimiento difuso, disección de ladera, remoción en masa, erosión de laderas contiguas.
Cadenas Montañosas	topográficos, climatológicos, litológicos, estratigráficos, antrópicos.	Cárcavas, escarpe de falla, cresta, ladera estructural, laderas rocosas, boquerones, gargantas, abras rocosas, barrancos, montañas erosionales.	Escurrimiento difuso, disección de ladera, remoción en masa, acumulación coluvial, desplazamiento violento de rocas
Altiplanicie	climatológicos, litológicos, estratigráficos.	Cima o cumbre, planicie estructural, planicie lacustre, altas mesetas.	Intemperismo

Fuente: Estudio de Diagnóstico y Zonificación de la Provincia de Ocros

Fisiografía (Parámetros de Relieve)

Factor de forma e Índice compacidad; El parámetro de forma para una cuenca nos indica la conjugación entre la longitud media y el ancho promedio lo cual nos ayuda a saber qué tipo de razones a confluir las fuerzas de las precipitaciones. Este índice suele ser empleado preferentemente como índice de la forma del Hidrograma Unitario. Con un valor de 0.16 se puede decir que es una cuenca muy alargada.

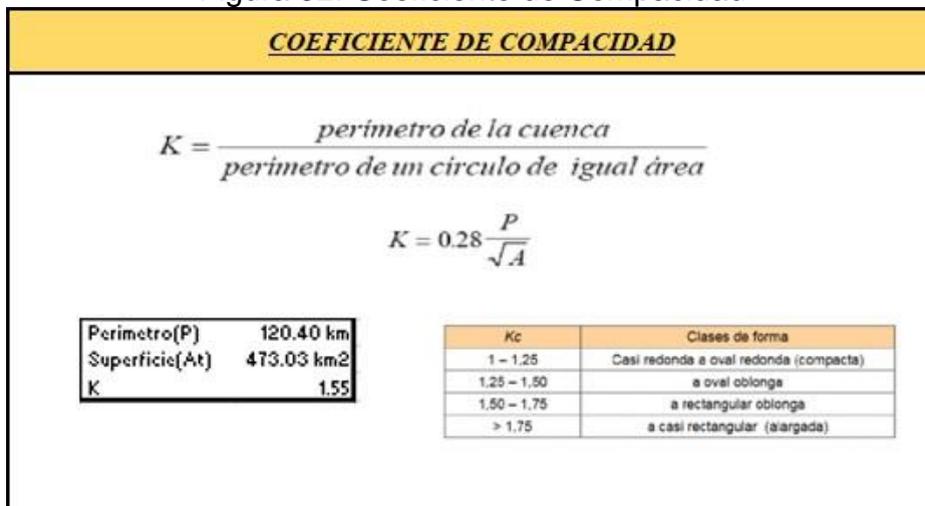
Figura 31: Factor de Forma



Fuente: Elaboración propia

Factor de compacidad: El parámetro de compacidad de toda manifiesta la incidencia tanto del perímetro y área de la cuenca sobre la dinámica de la escorrentía. el factor de compacidad de la cuenca de Ocros tiene un valor de 1.55, en base a esto se puede afirmar que cuenca tiene una forma rectangularoblonga. Además, como las cuencas suelen tener formas alargada no existe mucha probabilidad de que una precipitación pueda cubrir toda el área de la cuenca, lo que afectaría la forma de respuesta que presentara el río.

Figura 32: Coeficiente de Compacidad



Fuente: Elaboración propia

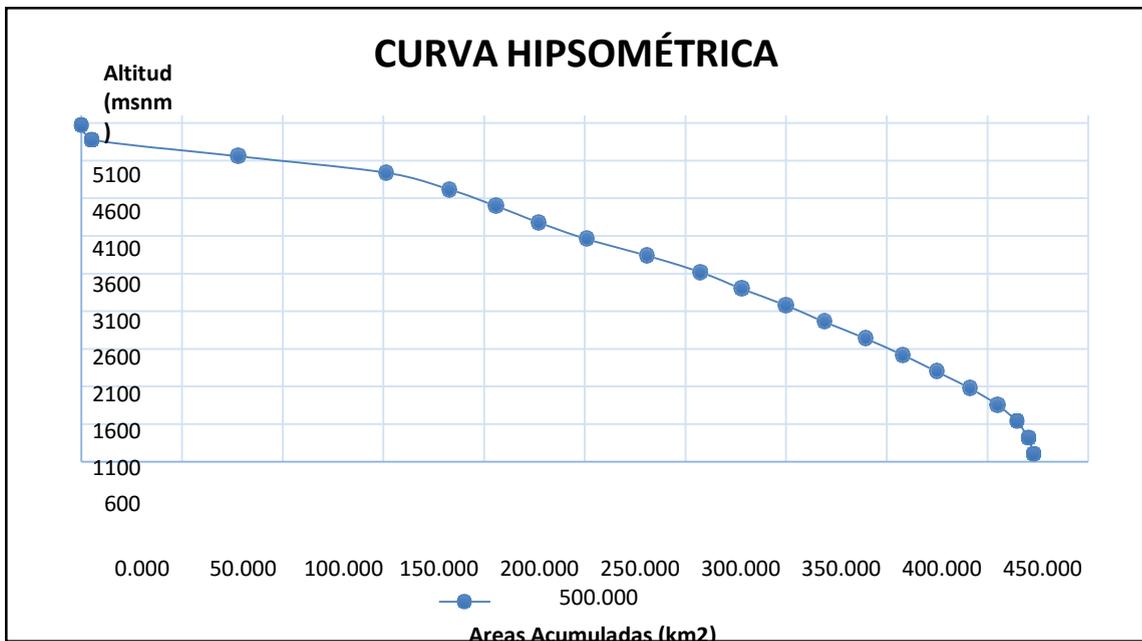
Curva Hipsométrica y relación hipsométrica

Curva Hipsométrica

La relación entre la superficie de la cuenca sobre una determinada elevación permite elaborar la curva hipsométrica. A partir de esta curva se puede hallar la relación hipsométrica de una cuenca. Este indicador es importante debido a que es

un índice del estado de balance dinámico de la cuenca. La tabla de elaboración de la curva hipsométrica en el anexo 6.

Figura 33: Curva Hipsométrica

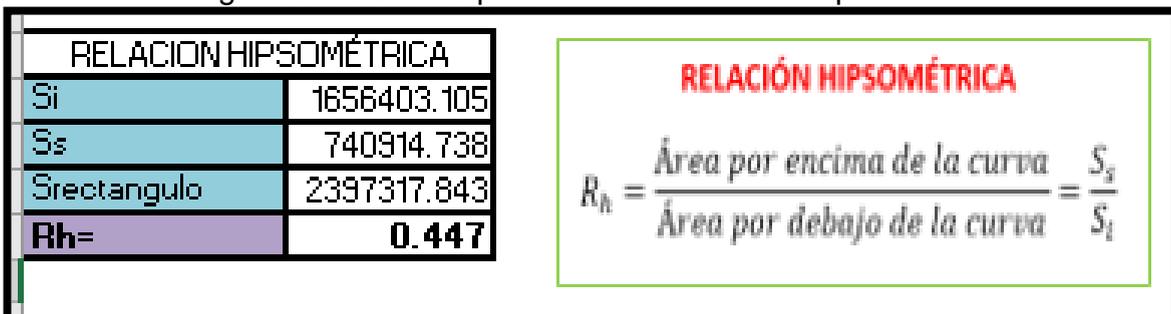


Fuente: Elaboración propia

La curva hipsométrica de la cuenca de Ocos es la que se muestra en la Figura 36, en áreas, la cual fue elaborada a partir de los datos extraídos del SIG y procesados en un Excel que se encuentran en las Tablas de precipitación.

Relación Hipsométrica; para la ecuación de la relación hipsométrica de la cuenca se debe conocer el área superior e inferior de la curva. Además, se debe conocer el área total del rectángulo que contiene a la curva hipsométrica. Los cálculos realizados se observan en la figura 34. Como se observa la relación hipsométrica que se obtuvo fue de 0.447 lo cual nos indica que es una cuenca en fase de juventud y por ende presenta un gran potencial erosivo.

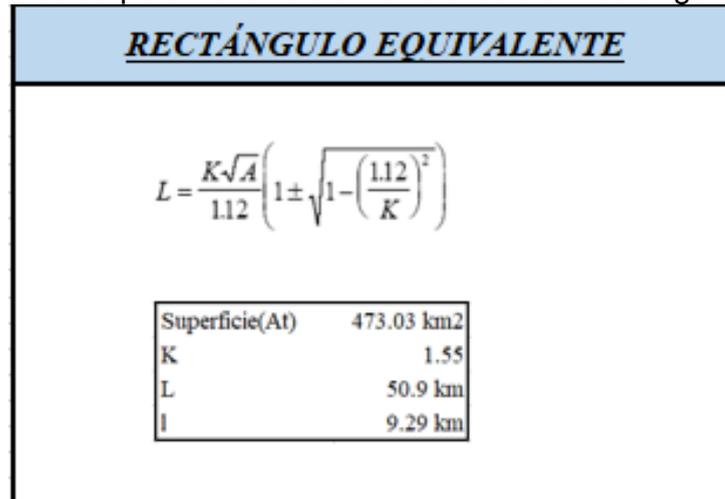
Figura 34: Cálculos para hallar la Relación Hipsométrica



Fuente: Elaboración propia

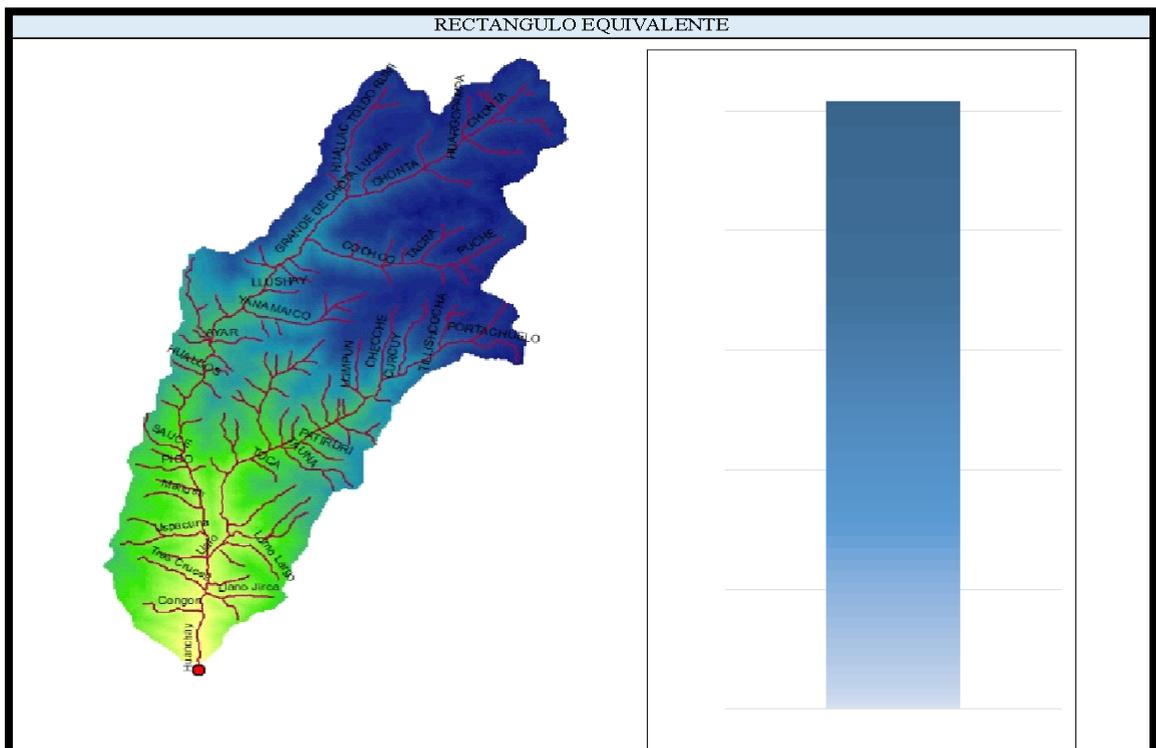
Rectángulo Equivalente; esta conversión geométrica hace posible graficar la cuenca de forma heterogénea, las propiedades características físicos y geomorfológicos de la cuenca no se ven alterados

Figura 35: Cálculos para hallar las dimensiones del Rectángulo Equivalente



Fuente: Elaboración propia

Figura 36: Rectángulo equivalente de la subcuenca Ocos

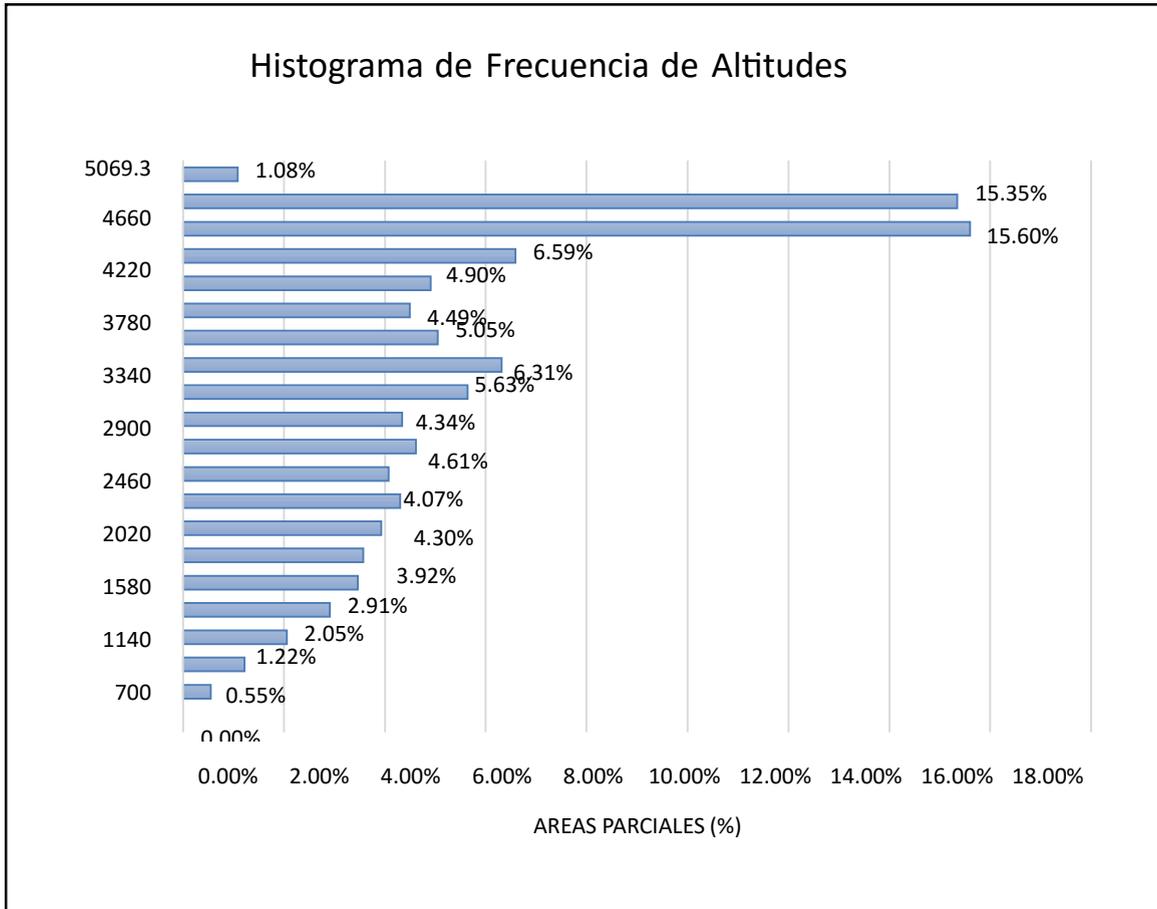


Fuente: Elaboración propia

Histograma de frecuencia de alturas. Altura media de la cuenca

Indica el área numérica y porcentual de área localizada entre dos elevaciones determinadas. dada la Figura 37 se ilustra el histograma obtenido. Del histograma se puede observar que hay mayor concentración del área entre las cotas de 4300 hasta 4700 msnm.

Figura 37: Histograma de frecuencia de alturas



Fuente: Elaboración propia

Altura media de la cuenca

Esta altura media se obtiene del promedio entre el nivel de la estación de aforo de la boca de la cuenca. La altura media es 3502.748541 msnm. La tabla correspondiente se encuentra en el anexo 7.

Pendiente de la cuenca. Métodos. Índice de pendiente

La pendiente de una cuenca indica que tipo de terreno tiene esta, además, es importante porque controla la velocidad del escurrimiento y determina el tiempo de acumulación de las precipitaciones en los medios de drenaje. En la figura 38 se muestra la pendiente media obtenida con ayuda del software ArcMap.

Figura 38: Valor de la pendiente de la subcuenca por medio del ArcMap

Rowid	ID	COUNT	AREA	MIN	MAX	RANGE	MEAN	STD	SUM
1	1	46550	465500000	0	121.232002	121.232002	43.627836	20.377949	2030875.773272

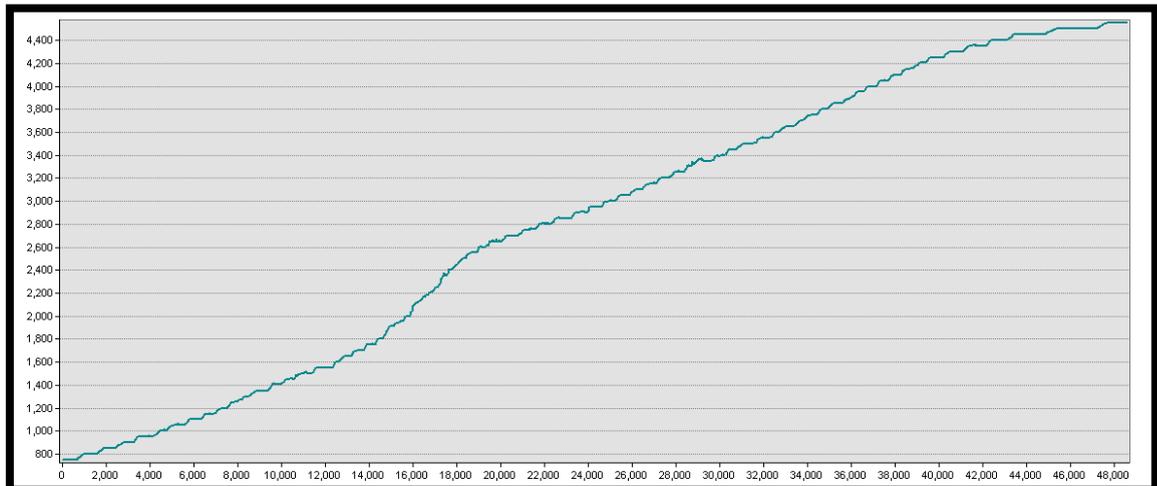
Fuente: Elaboración propia

Parámetros de Drenaje

Perfil longitudinal del curso principal

Es la correlación proyectada horizontalmente de la longitud del río principal de la cuenca con su elevación brinda un indicador de las pendientes que presenta el río en los distintos tramos de su cauce.

Figura 39: Perfil longitudinal del río Ocros



Fuente: Elaboración propia

Pendiente del cauce principal

La pendiente del río principal nos permite determinar características y parámetros para el óptimo aprovechamiento en proyectos hidroeléctricos, además, plantear

soluciones a los problemas de inundaciones que pudiesen ocurrir. Es generalmente frecuente que este valor es requerido como uno de los factores intervienen en los cálculos de mayor precipitación. La pendiente del cauce principal se relaciona con la velocidad del escurrimiento y en base a estos se genera la configuración del hidrograma.

Figura 40: Pendiente media del cauce

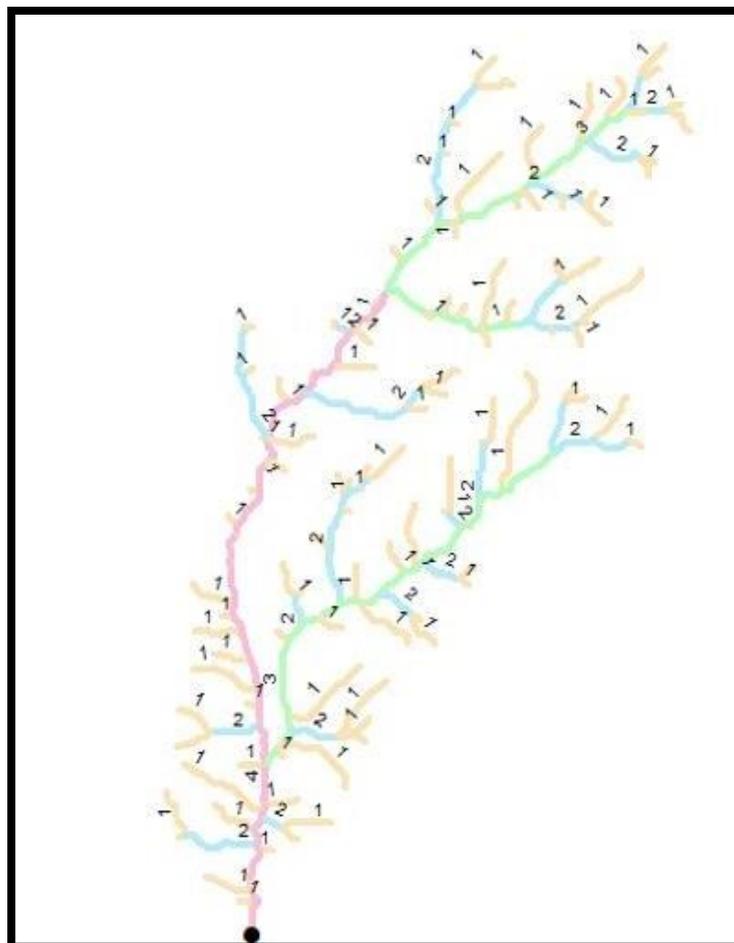
Pendiente media del cauce	0.0545974
	5.46%

Fuente: elaboración propia

Número de orden de los ríos

El orden de los flujos se estableció mediante el uso del ArcMap, en la figura 41 se ilustra la distribución de los ríos y el orden de cada uno.

Figura 41: Mapa de distribución orden de los ríos.



Fuente: Elaboración propia

Longitud de los ríos

Tabla 15: Longitud de los ríos de acuerdo a su orden.

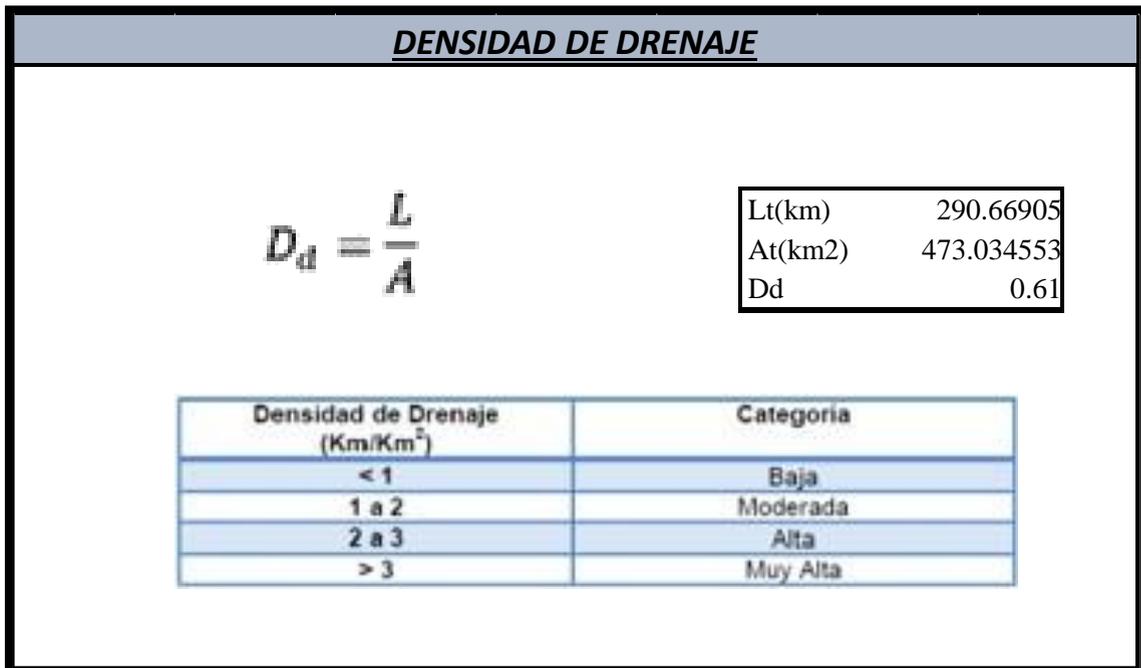
Orden de los ríos	Cantidad	Longitud de los ríos
1	117	152162.4153
2	40	63024.63719
3	38	42608.75676
4	35	32873.24497

Fuente: Elaboración propia

Densidad de drenaje

La Densidad de drenaje se expresa por la relación de la longitud total de los cauces de una cuenca y el área de ésta. Donde D_d es la densidad de drenaje (en Km/Km^2), ΣL_u es la longitud total de cauces (en Km) y S es el área total de la cuenca en Km^2 . Los cálculos demuestran que, la cuenca posee una densidad de drenaje con valores menor a 1, esto se interpreta como una categoría de cuenca baja.

Figura 41: Cálculo de la densidad de drenaje



Fuente: Elaboración propia

Relación de bifurcación y leyes de Horton

Es la relación entre el área y el cuadrado de la longitud de la cuenca.

Relación entre (Nu) y U de la cuenca Ocros. El resumen de parámetros fisiográficos en el anexo

Tabla 16: Cálculo de la relación de bifurcación de la subcuenca de Ocros

UN	u	Logun		b	rb
11	1	2.06818586	$y = -0.1595x + 2.0972$	0.1595	1.4437766
40	2	1.60205999	$y = -bx + m$		
38	3	1.5797836			
35	4	1.54406804			

Fuente: Elaboración propia.

Etap 2: Análisis de precipitaciones con Hydraccess

Estaciones meteorológicas; Georreferenciación de las estaciones meteorológicas en UTM y coordenadas geográficas.

Tabla 17: Ubicación de estaciones meteorológicas

				SUR	OESTE
ESTACION	ESTE	NORTE	ALTITUD	LATITUD	LONGITUD
	X	Y	Z	grado	grado
CHIQUIAN	263383.8	8877479	3414	0.0142972	411342.7316667
CAJATAMBO	282221.3	8841062.4	3432	0.0142972	429573.2933333
GORGOR	276789.8	8825153.9	3025	0.0142972	423876.5386111
MAYORGA	242629.1	8876214.9	3335	0.0142972	390566.9413889
ACO	255531.8	8838405.5	2490	0.0142972	402839.2500000
CONGAS	233488.2	8856686.2	3018	0.0142972	381100.4750000
OCROS	236956.5	8848859.6	3249	0.0142972	384438.3958333

Fuente: Elaboración propia.

Las estaciones presentadas fueron objeto de selección y análisis sobre el criterio de cercanía a la subcuenca del río Ocros. El procedimiento seguido para la obtención de datos fue la siguiente:

1. Consultaremos la página oficial del SENAMHI la data histórica a la cual debemos de acceder. Para esto nos dirigimos a la siguiente dirección:

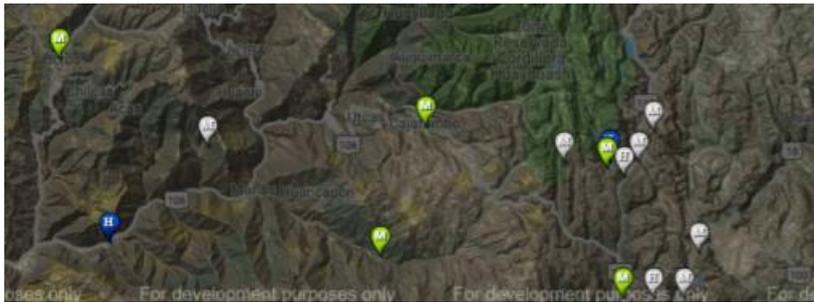
Figura 52: Red de estaciones a nivel nacional.



Fuente: Senamhi

- Después nos dispondremos a buscar estaciones que tengan una relativa cercanía con la cuenca de estudio:

Figura 43: Selección de estaciones dentro y fuera de zona de estudio



Fuente: Senamhi

- Una vez seleccionado las estaciones apropiadas de estudio, nos registramos en la página web para poder descargar la data. Anexo 10

Figura 44: Importar datos de precipitación a formato Excel.



Fuente: Elaboración propia

Análisis de cuenca con el software Hydraccess

Dada la gran cantidad de datos por analizar y estudiar, usaremos el software Hydraccess para poder administrar, visualizar y procesar datos hidrológicos que sean de nuestro interés, además de realizar cuadros comparativos entre data, que nos permitan comprender de una mejor manera los datos trabajados antes de corregirlos en el Excel.

Figura 45: Ventana principal de Hydraccess



Fuente: Hydraccess

El análisis de precipitaciones se realizó mediante los siguientes pasos:

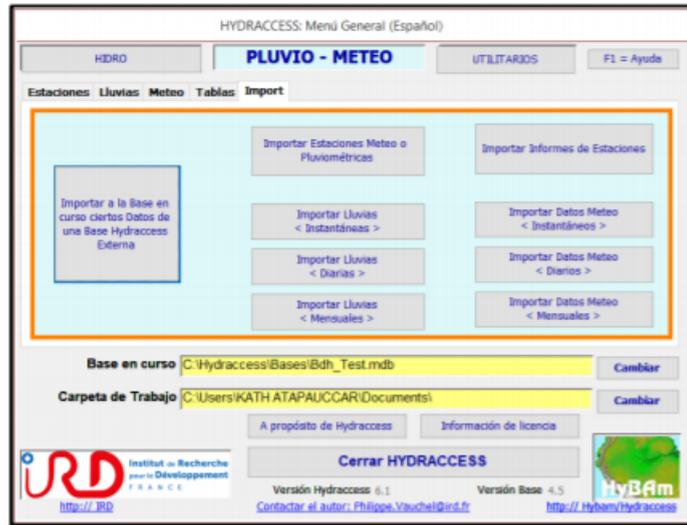
- Se creó la carpeta de almacenamiento y se abrió una hoja de cálculo para el análisis, luego se importa la data de las estaciones.

Figura 46: Creación de base de datos



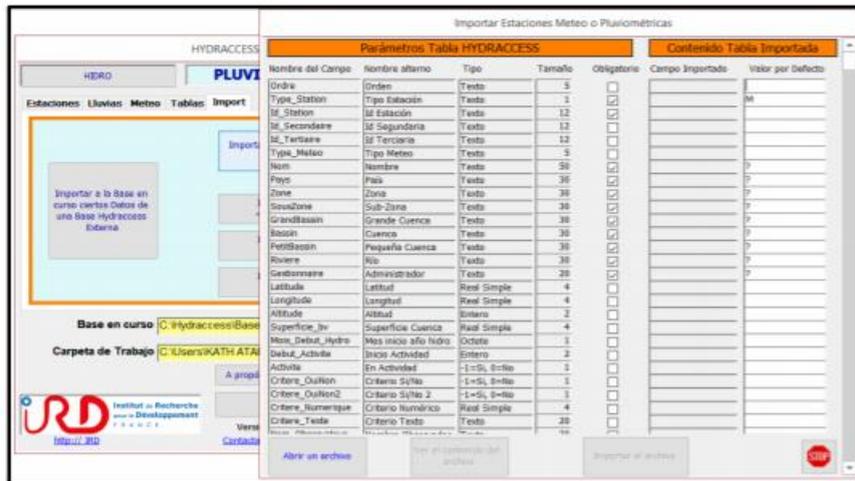
Fuente: Hydraccess

Figura 47: Importación de datos



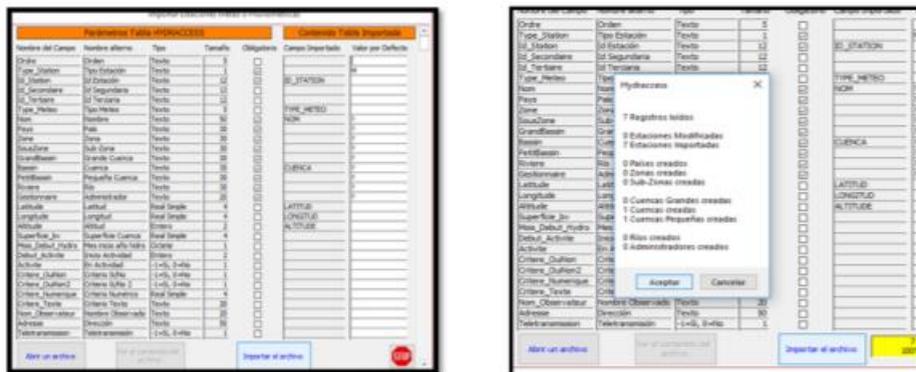
Fuente: Hydraccess

Figura 48: Hydraccess importando ubicación de estaciones



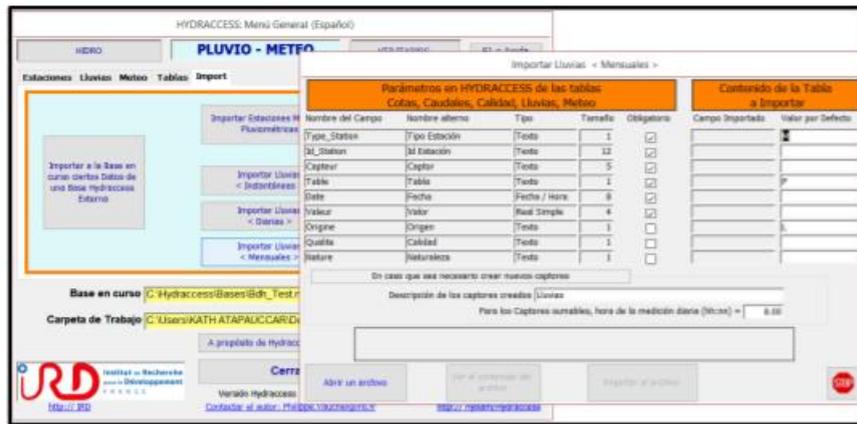
Fuente: Hydraccess

Figura 49: Hydraccess importar archivos



Fuente: Hydraccess

Figura 50: Hydraccess importar lluvias mensuales



Fuente: Hydraccess

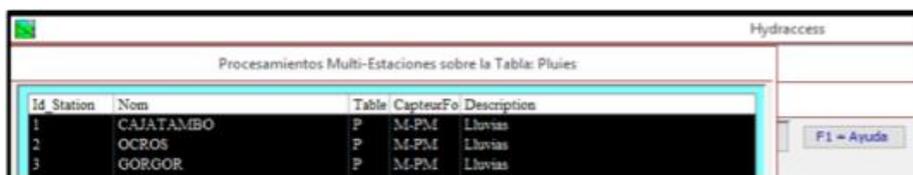
Figura 51: Hydraccess elegir opción precipitaciones



Fuente: Hydraccess

- b. Se realiza la verificación de las estaciones y correremos el programa dándonos una primera estimación.

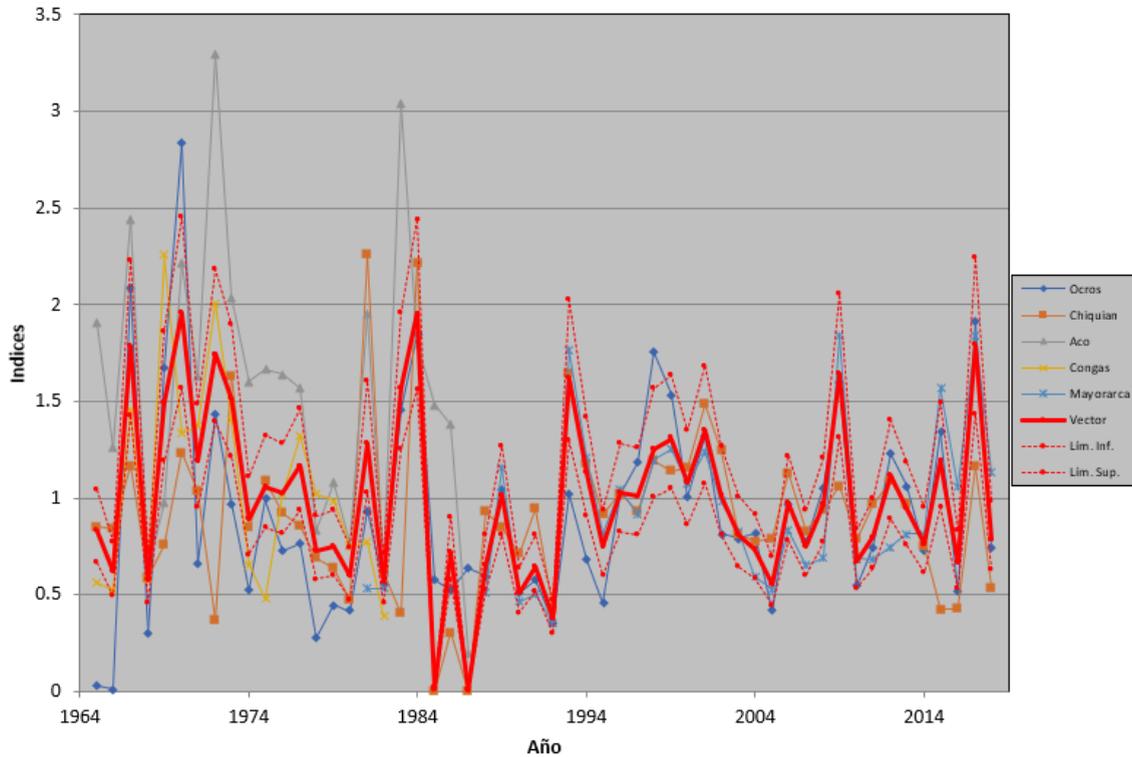
Figura 52: Hydraccess ejecución del software



Fuente: Hydraccess

c. De esta manera tendremos nuestra primera estimación

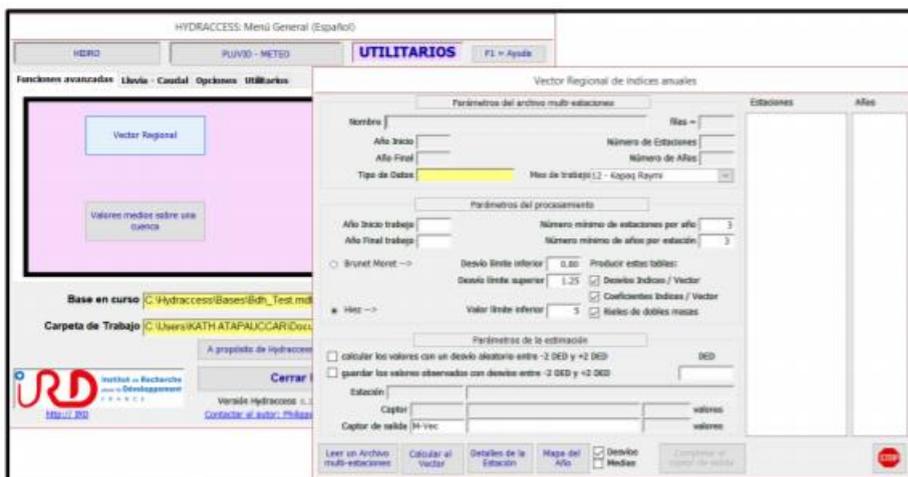
Gráfico 01: año vs índice de precipitación de cada estación



Fuente: Hydraccess

d. Ahora usaremos el comando vector regional el cual nos permitirá completar los datos de cada estación y determinar cuáles no tienen correlación con los demás.

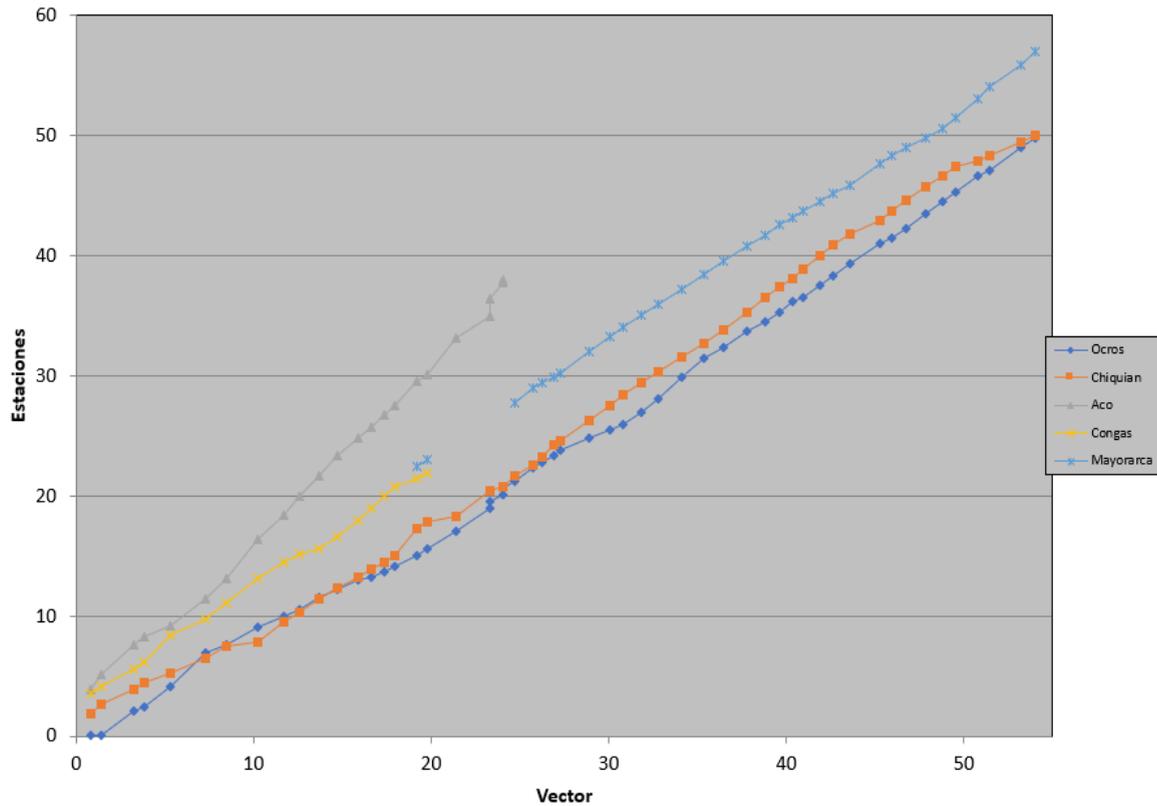
Figura 53: Hydraccess comando vector regional.



Fuente: Hydraccess

- e. Dado el primer análisis podemos determinar que estaciones no tienen correlación con las demás, lo cual se determinará después de manera estadística.

Gráfico 02: vector regional vs estaciones



Fuente: Hydraccess

Serie de Data Histórica

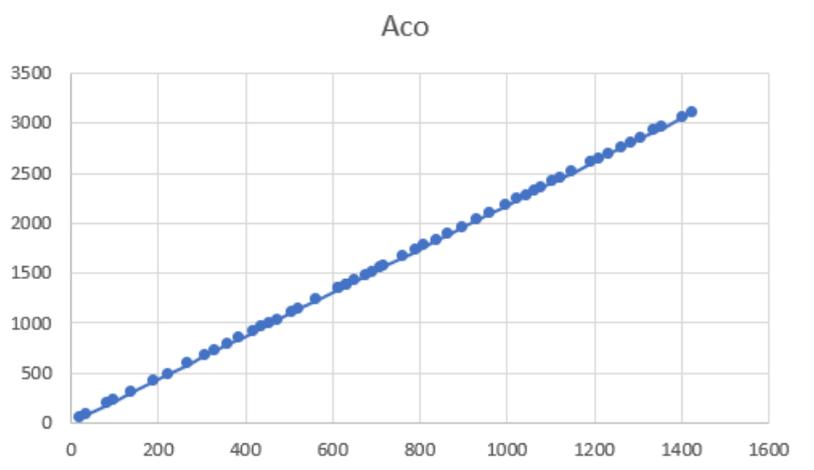
Los registros de torrencialidad de las 5 estaciones son filtrados y ordenados de tal manera que se logran obtener los resultados de las precipitaciones mensuales y anuales de manera ordenadas en tablas adjuntadas en los anexos.

Data histórica precipitaciones

Análisis Doble Masa

Una vez ordenados y filtrados los resultados de las precipitaciones de las estaciones se realizó el análisis doble masa para determinar la estación base.

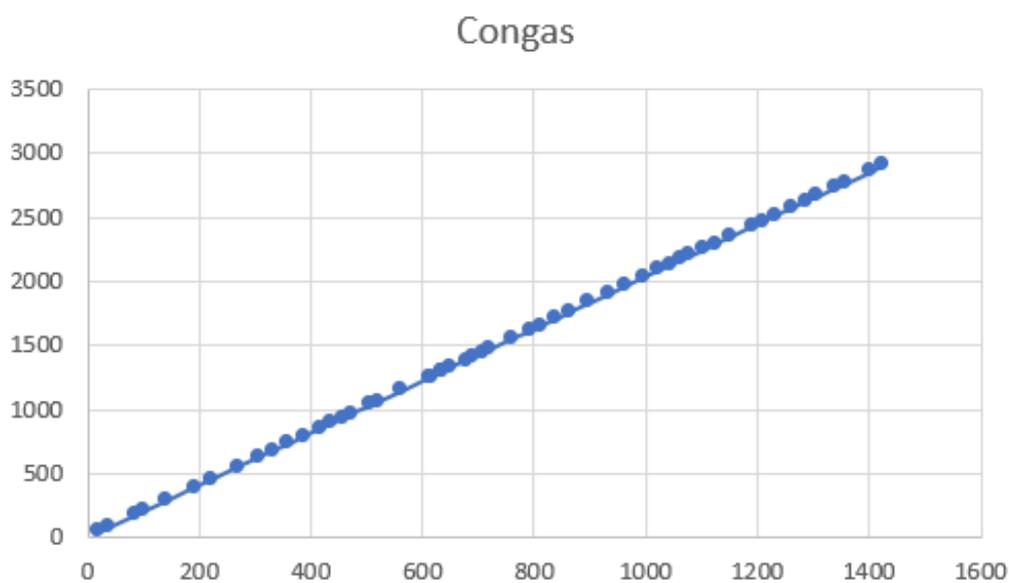
Gráfico 03: pp acumulada Base vs pp acumulada Aco



Fuente: elaboración propia

$$y = 0.982x + 326.76$$
$$R^2 = 0.9995$$

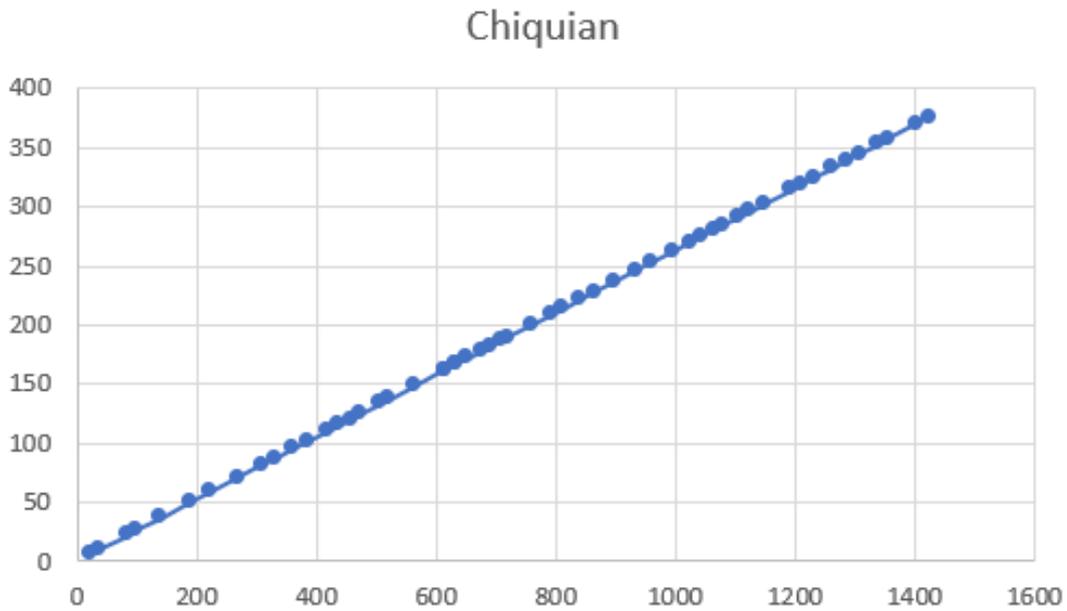
Gráfico 04: pp acumulada Base vs pp acumulada Congas



Fuente: elaboración propia

$$y = 1.1164x - 307.53$$
$$R^2 = 0.9993$$

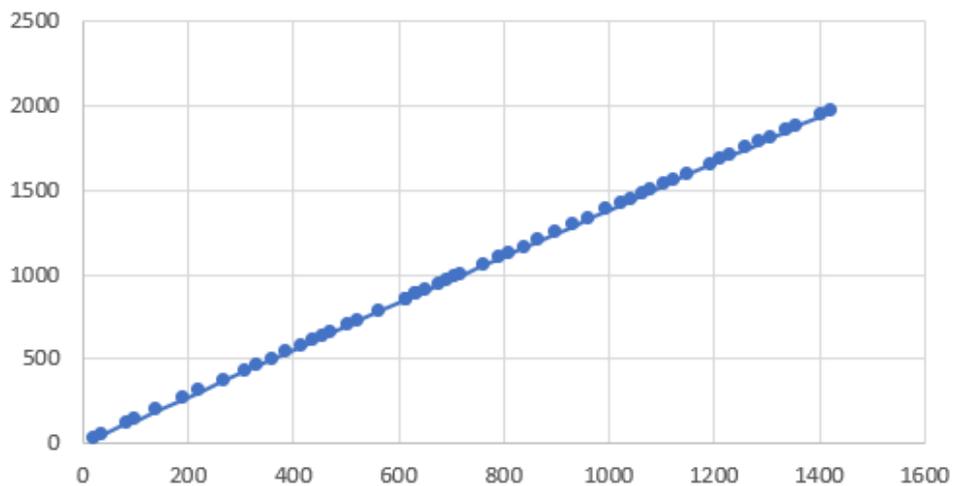
Gráfico 05: pp acumulada Base vs pp acumulada Chiquian



Fuente: elaboración propia

$$y = 1.0314x + 565.12$$
$$R^2 = 0.9927$$

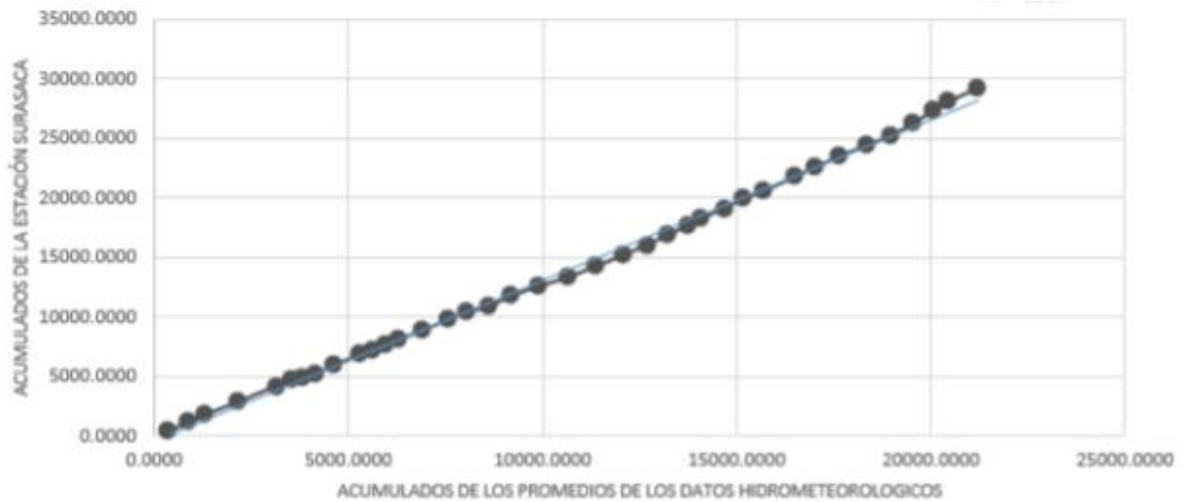
Gráfico 06: pp acumulada Base vs pp acumulada Ocros



Fuente: elaboración propia

$$y = 0.5206x - 152.31$$
$$R^2 = 0.9991$$

Gráfico 07: pp acumulada Base vs pp acumulada Ámbar

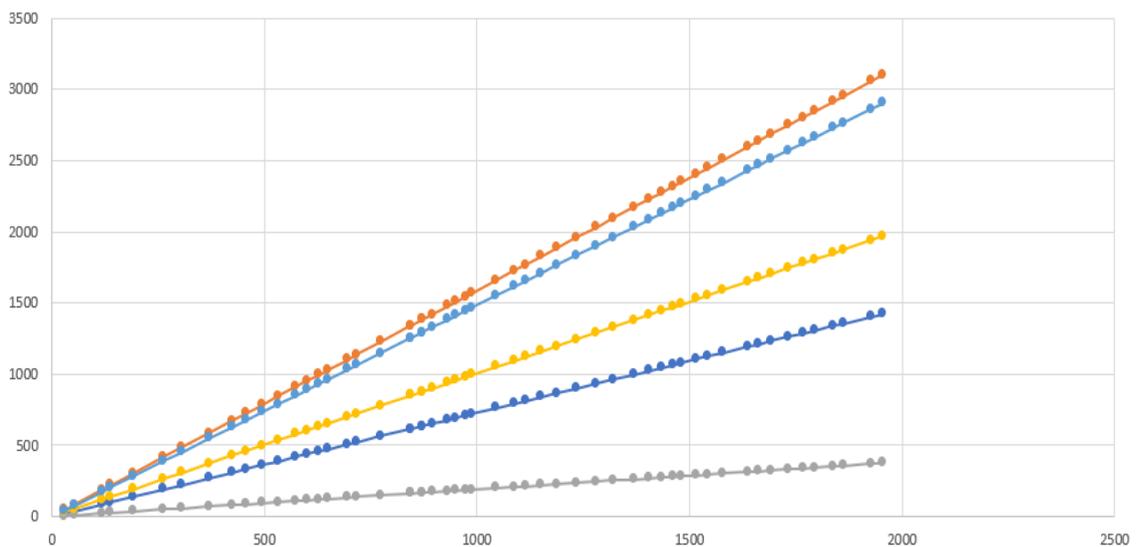


Fuente: elaboración propia

$$y = 1.3496x - 432.03$$
$$R^2 = 0.9977$$

Gráfico 08: curva doble masa

Curva Doble Masa



Fuente: elaboración propia.

Se concluye que la estación Ocros será la estación base para el análisis.

Análisis estadístico

Análisis estadístico de registros de precipitaciones

Para la realización del análisis estadístico se emplearán las tablas de precipitaciones mensuales de las estaciones seleccionadas. Los datos de cada estación están en los anexos, 11, 12, 13, 14, 15, 16 y 17.

Cálculo de la precipitación media anual

Es importante realizar un estudio de la precipitación, ya que, en gran medida, dichas investigaciones y observaciones forman parte relevante con los recursos hídricos y obras hidráulicas. Tras ello, en el presente informe se analizará los datos de cinco estaciones para su posterior estudio. No obstante, en este estudio de la precipitación se tendrá que estimar valores con los que no se cuenta a través de diversos métodos. Entre los métodos más conocidos y empleados se encuentra el de la media aritmética, la cual se obtiene de los datos puntuales de precipitación y es usado de manera frecuente para completar un solo dato. Por otro lado, se cuenta con el método de correlación lineal, el cual consiste en utilizar la ecuación de la línea de tendencia obtenida de los valores acumulados anuales entre estaciones o entre meses continuos. Este estudio consiste en estimar la torrencialidad promedio de una cuenca que sea extrapolable a toda el área de la cuenca. Por lo tanto, se evaluará dicha precipitación media por diversas formas, las cuales se mencionan las principales a continuación:

Método promedio aritmético

Este método calcula el promedio aritmético de los índices de precipitación registrados, las cuales se ubican dentro de la zona de estudio. Además, este método es aplicable cuando se cuentan con un número elevado de estaciones, cuando los valores entre las estaciones son pocos variables y cuando se trabaje en zonas de poca variabilidad topográfica, homogeneidad física y climática.

Figura 54: Promedio de precipitaciones

$\overline{P_A} = \frac{\sum_{i=1}^n P_i}{n}$	
P _i	Precipitación de la estación i
P _a	precipitación promedio
N	Numero de estaciones

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 18: precipitación promedio anual de la subcuenca de Ocros

ESTACION	GORGOR	ACO	CHIQUIAN	CAJATAMBO	AMBAR	CONGAS	OCROS
PRIMERA ESTACION	640.89	158.36	690.63	585.62	260.12	464.3	217.17
Pmo de Subcuenca	438.73						

Fuente: Elaboración propia

Método de Thiessen en ArcGIS

Al elaborar el polígono de Thiessen en el QGIS se deben de seguir los siguientes pasos:

- Se creo un archivo Excel en el cual indicamos el nombre de cada estación que este más cerca a subcuenca en estudio, su localización mediante coordenadas UTM.

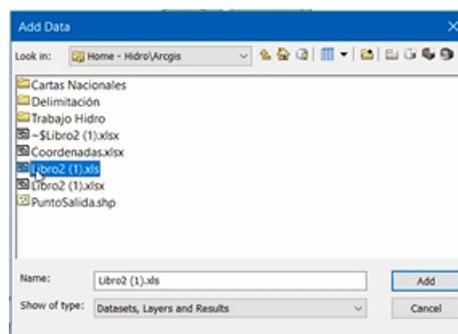
Tabla 19: precipitación media anual según método de Thiessen

ESTACION	ESTE	NORTE	ALTITUD	Pp. Media anual
	X	Y	Z	(mm)
CHIQUIAN	263383.8	8877479	3414	690.63
CAJATAMBO	282221.3	8841062.4	3432	260.12
GORGOR	276789.8	8825153.9	3025	585.62
MAYORGA	242629.1	8876214.9	3335	640.89
ACO	255531.8	8838405.5	2490	158.36
CONGAS	233488.2	8856686.2	3018	464.3
OCROS	236956.5	8848859.6	3249	271.17

Fuente: elaboración propia.

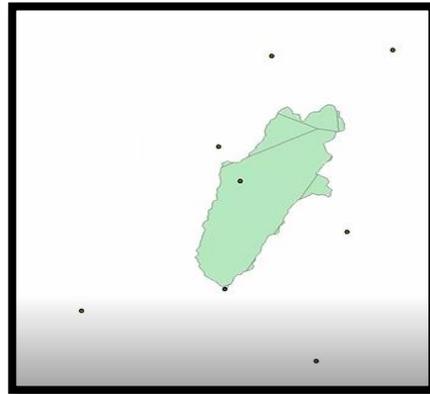
- Con los datos de las estaciones procedemos a importar los datos al ArcGIS

Figura 55: Importar datos al ArcGIS



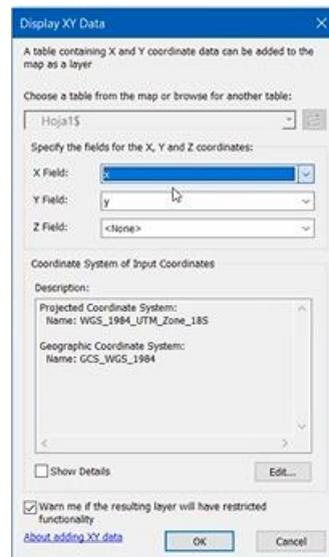
Fuente: elaboración propia

Figura 56: Visualizar estaciones y contorno de la subcuenca con ArcGis



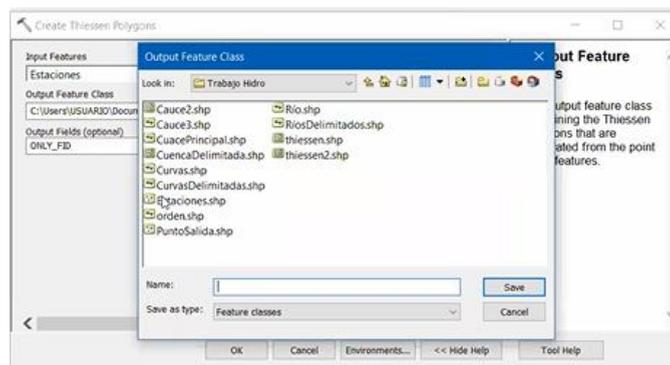
Fuente: elaboración propia

Figura 57: Agregar coordenadas de los puntos



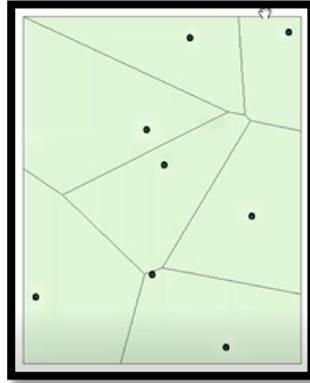
Fuente: elaboración propia.

Figura 58: Dar formato a los puntos



Fuente: elaboración propia.

Figura 59: Se visualiza los polígonos de Thiessen



Fuente: elaboración propia.

Figura 60: Se visualiza los polígonos de Thiessen en la subcuenca



Fuente: elaboración propia.

- c. Obtenemos las áreas
- d. Nos dirigimos a HidroEsta2 o con el mismo ArcGis 10.5
- e. Finalmente obtenemos la precipitación media anual promedio de la cuenca

354.86 mm

Método de las Isoyetas en ArcGIS

Con esta metodología, se requiere contar con un plano de isoyetas de las precipitaciones registradas en las estaciones meteorológicas de la subcuenca en estudio. Las isoyetas es un método preciso, sin embargo, requieren de un criterio adecuado para unir los puntos de igual precipitación de las curvas que conforman

el plano de isoyetas. Cabe resaltar, que mayor será la aproximación si se trabaja con un mayor número de estaciones; y que además para la construcción de isoyetas es similar a la construcción de curvas de nivel por elevación.

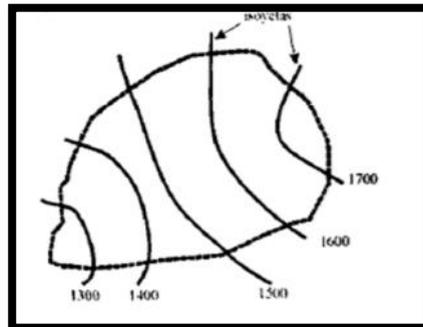
Figura 61: Formula para calcular precipitación promedio anual.

$$\bar{P} = \frac{\sum_{i=1}^{n-1} \left(\frac{P_i + P_{i+1}}{2} \right) A_{i,i+1}}{\sum_{i=1}^{n-1} A_{i,i+1}}$$

P _i	Precipitación en la curva i
P _{i + 1}	Precipitación en la curva i+1
A _{i, i + 1}	Area entre las curvas de precipitación i e i+1

Fuente: Elaboración propia

Figura 62: mapa de isoyetas.

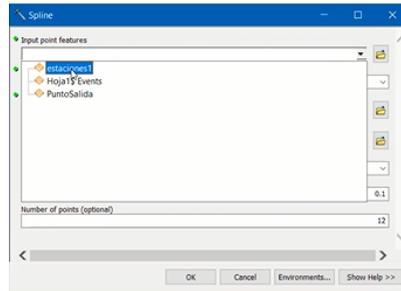


Fuente: FAO

Pasos que seguir para la elaboración del Polígono de Isoyetas:

- Ubicar las estaciones, dentro y fuera de la cuenca.
 - Trazar isolíneas (líneas por las que un parámetro tiene el mismo valor), de tal manera que se interponen entre las estaciones pluviométricas.
 - Se determinan las áreas entre las isolíneas o isoyetas.
 - Se aplica la fórmula presentada.
- a. Con los puntos importados del punto anterior se procede a realizar el cálculo de las isoyetas. Para ello nos dirigimos a la herramienta spline.

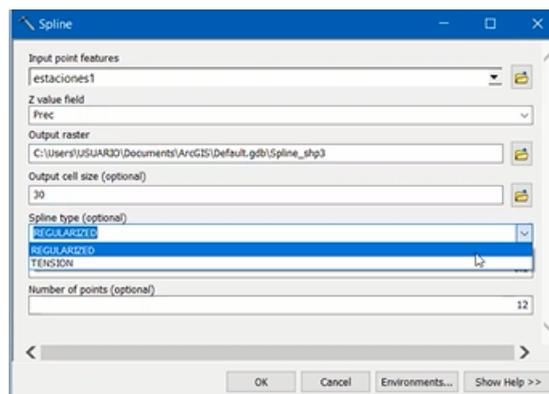
Figura 63: Cálculo de isoyetas con ArcGIS



Fuente: elaboración propia.

- b. Se adjuntan los datos de precipitación previamente analizados con el Excel.
- c. Se determina la configuración.

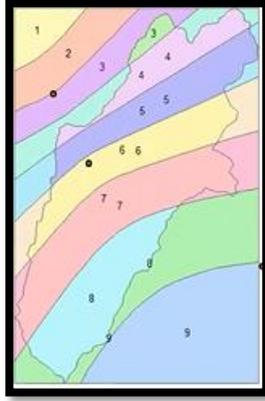
Figura 64: Se determina la configuración con Arcgis



Fuente: elaboración propia.

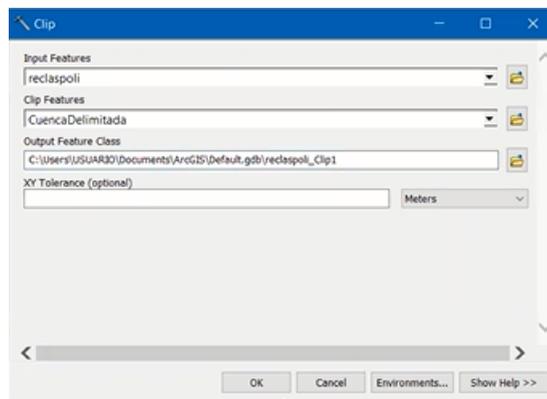
- d. Se obtiene las isoyetas de todo el raster

Figura 65: isoyetas del todo el raster



Fuente: elaboración propia.

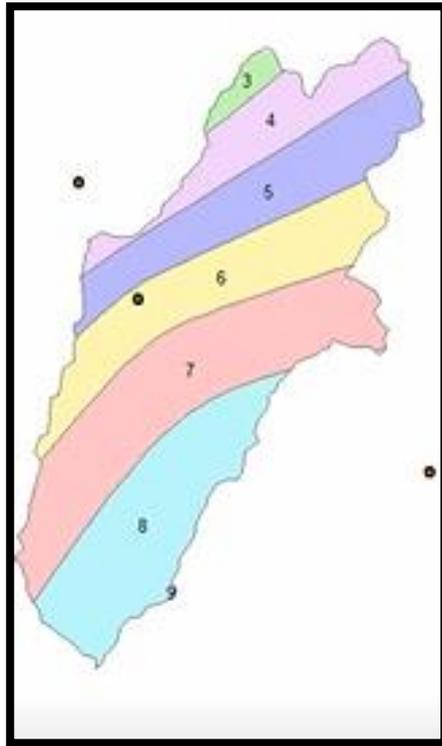
Figura 66: corte y modificación de isoyetas



Fuente: elaboración propia,

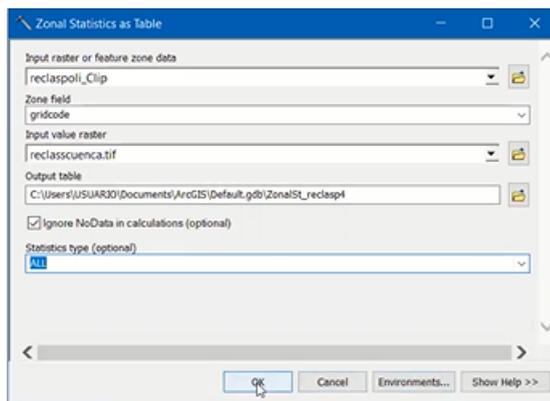
e. Obtenemos

Figura 67: isoyetas dentro de la subcuenca de Ocros



Fuente: elaboración propia.

Figura 68: Cálculo de las áreas entre isoyetas



Fuente: elaboración propia.

f. Obtenemos la siguiente tabla

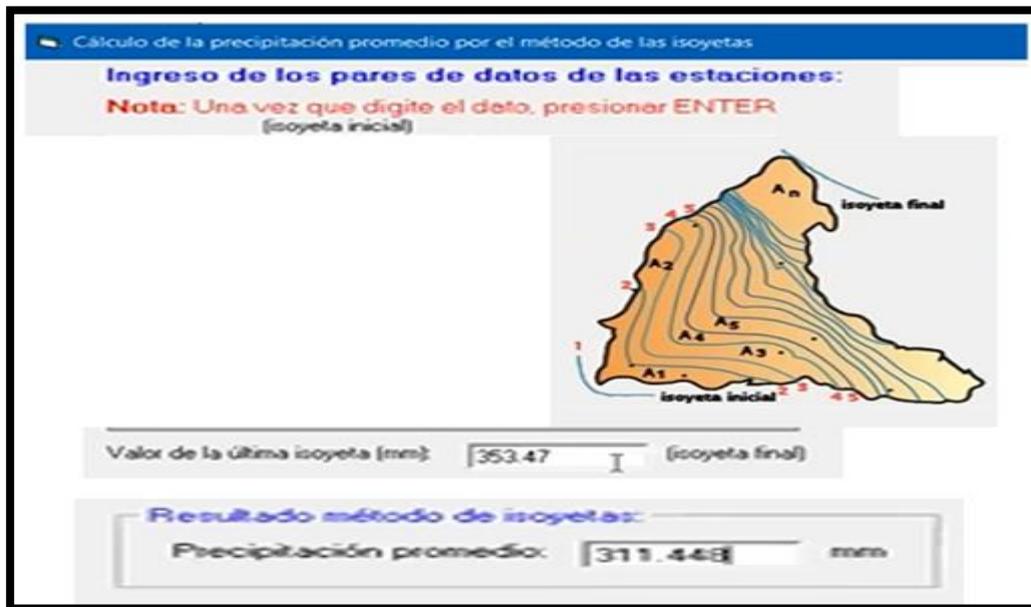
Tabla 20: área entre isoyetas dentro de la subcuenca de Ocroz

Rowid	GRIDCODE	COUNT	AREA	MIN	MAX	RANGE	MEAN	STD	SUM
1	3	10107	9096390	249.718857	259.494568	9.775711	255.546921	2.470932	2582812.726486
2	4	59479	53531100	259.496185	278.272369	18.776184	271.165597	4.927472	16128658.534485
3	5	92582	83323800	278.272675	297.048706	18.776031	287.432774	5.326353	26511101.068634
4	6	99369	89432100	297.049103	315.825287	18.776184	307.027043	5.341589	30508970.251373
5	7	149088	134179200	315.825592	334.601624	18.776031	325.888695	5.25	48586093.810699
6	8	115095	103585500	334.602203	353.371155	18.768951	342.355676	4.683287	39403426.477539
7	9	21	18900	353.380524	353.475586	0.095062	353.420146	0.02813	7421.823059

Fuente: elaboración propia.

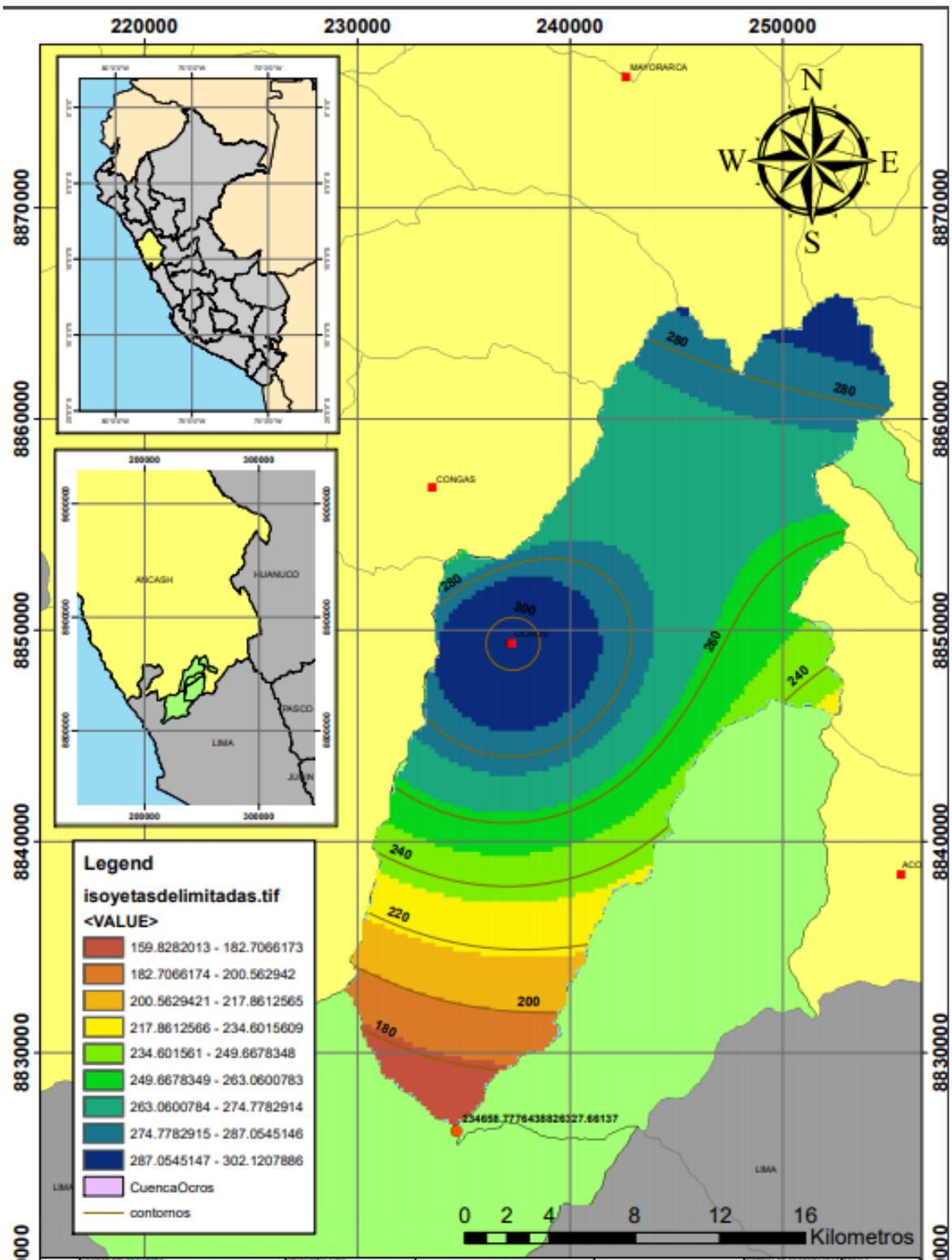
- g. Nos dirigimos a HidroEsta2 para el cálculo de la precipitación anual
- h. Resultado de la precipitación promedio anual

Figura 69: Cálculo de la precipitación promedio anual de la subcuenca.



Fuente: elaboración propia.

Figura 70: Mapa de isoyetas de torrencialidad media anual de la subcuenca



Fuente: elaboración propia.

Etapa 3: Aplicación de método RUSLE

Esta metodología al hallar la cantidad de suelo erosionado nos permite plantear medidas de protección, investigaciones científicas y la susceptibilidad a la erosión de suelos en diversas zonas. Es por su facilidad de aplicación del modelo y requerimientos de Información poco complejo que el método RUSLE es el de mayor uso. (Ríos, 2018).

El método basado en la ecuación RUSLE está determinado por 5 parámetros de cálculo; la erosividad (R) causada por las precipitaciones y las escorrentías. El parámetro de erosionabilidad (K) determinado por las propiedades del suelo. El parámetro topográfico (LS), el cual se obtiene del producto de la longitud de la cuenca y la pendiente promedio. El parámetro de cobertura vegetal (C) representado por los valores asignados a cada tipo de cobertura vegetal. El parámetro de prácticas de conservación (P) este es un valor asignado según tablas propuestas por la FAO. Estos parámetros pueden clasificarse en dos grupos, parámetros dinámicos (erosividad, cobertura vegetal y prácticas de conservación) cuyos valores varían a través del tiempo y los parámetros estáticos (erosionabilidad y topográficos) cuyos valores se mantiene constantes durante el tiempo.

Parámetro de erosividad: Para hallar el valor del factor R se determina mediante la cantidad de precipitación en un periodo de tiempo, el porcentaje de infiltración, el flujo de la escorrentía, el volumen de las láminas de lluvia, también las variables meteorológicas de las lluvias sucedidas en nuestra zona de estudio. Para el cálculo del valor de R utilizamos la ecuación (2) presentada por (Wischmeier, 1959), así mismo, el total de la energía cinética (E), que esta correlacionado con los variables de cálculo de R, se mide en su máxima intensidad en periodos de 30 minutos (I_{30}) el método de Wischmeier (1959) indica que determinar el valor de R requiere un registro de precipitaciones en periodos de 30 minutos. Dado que no se cuenta con registros tan detallados en el Perú se optó por utilizar, como base para el cálculo de R, los registros mensuales de torrencialidad. Para objeto de nuestro proyecto se utilizó la información de las estaciones climatológicas y pluviométricas que se encuentra dentro y circundante al área de estudio. Con esta base de datos se ajustó la metodología para adaptarla a los datos obtenidos. Bajo la base teórica precedente, se indica utilizar el Índice de Fournier (IF) (1960), que demuestra el impacto del fenómeno erosivo de las precipitaciones con su ecuación.

Figura 71: Índice de Fournier (IF)

$IF = \frac{p_{max}^2}{P}$	
P	Precipitación media anual (mm)
IF	Índice de agresividad climática (índice de Fournier)
Pmax	Precipitación del mes más lluvioso (mm)

Fuente: Elaboración propia.

En esta tesis se empleó la ecuación modificada por FAO. En esta se hizo una corrección al IF; la ecuación modificada del IF queda expresada así:

Figura 72: Índice modificado de Fournier

$IMF = \frac{\sum_{i=1}^{12} P_i^2}{P_t}$	
P _i	Precipitación del mes i del año j (mm)
P _t	Precipitación media anual del año j (mm)
IMF	Índice modificado de Fournier del mes i y el año j

Fuente: elaboración propia.

Para calcular el Índice de Fournier, se gestionó la obtención de los registros de datos pluviométricos desde el servidor PISCO y SENAMHI. Se utilizó los datos de precipitación mensual de siete estaciones meteorológicas, correspondiente al periodo de 1973 a 2021. Para determinar la viabilidad del sistema de datos PISCO se analizó la consistencia entre los datos de precipitación de base satelital y los registros de campo. Se estableció la consistencia y confiabilidad del server PISCO. Se observó una correlación consistente de los datos meteorológicos entre la mayoría de las estaciones de registro. Una vez procesados los datos se calculó las precipitaciones medias mensuales, así como la precipitación media anual.

Aplicamos la ecuación IMF a las medias mensuales y anuales de precipitación y obtenemos sus valores correspondientes. seguidamente aplicamos la expresión de Renard y Freimund. Esta ecuación halla el valor de R para regiones de costa que experimentan poca frecuencia e intensidad de precipitaciones (Rosas M. A., 2016), además de zonas donde no se cuenta con datos meteorológicos detallados.

Figura 73: Ecuación de intensidad de precipitación.

$$R_{RF} = R = 0.07397 * IMF^{1.847} \left(\frac{Mj * mm}{Ha * h} \right)$$

Pi	Precipitación del mes i del año j (mm)
Pt	precipitación media anual del año j (mm)
IMF	Indece modificado de Fournier del i y del año j

Fuente: Elaboración propia.

Las tablas de datos generales se encuentran adjuntas en los anexos 18, 19, 20, 21, 22, 23 y 24. La síntesis de los cálculos se muestran en los anexos 25 y 26 a continuación en las tablas de resumen.

Tabla 21: Cálculo promedio anual de R serie 1973-2021 de todas las estaciones (anual y mensual)

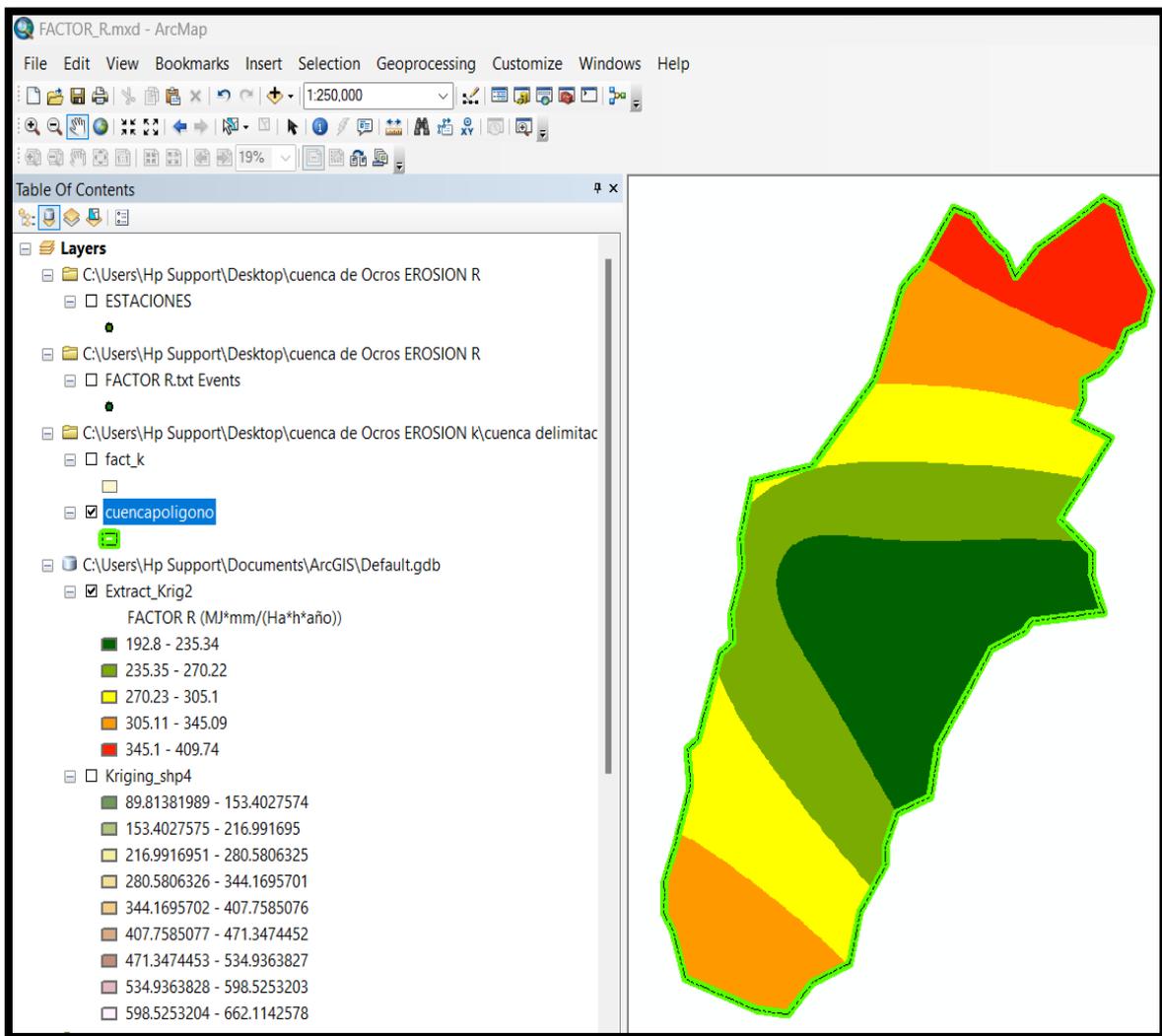
FACTOR R PROMEDIO PARA CADA ESTACIÓN UTILIZANDO DOS CRITERIOS			
		CRITERIO A	CRITERIO B
		$(MJ * mm) / (ha * h * año)$	$(MJ * mm) / (ha * h * año)$
	ALTITUD (msnm)	R PROMEDIO	R PROMEDIO
GORGOR	3025	662.162	477.427
ACO	2490	89.743	55.791
CHIQUIAN	3414	569.685	395.791
CAJATAMB O	3432	452.141	320.540
AMBAR	2076	298.954	201.629
CONGAS	3018	312.297	175.253
OCROS	3249	219.677	122.611

Fuente: elaboración propia.

Según la tabla de valores promedio de R calculados se evidencia que las estaciones meteorológicas de Cajatambo, Gorgor y Chiquian son las que tienen valores de erosividad mayores al resto de estaciones analizadas. Este valor puede ser sustentado por la coincidencia con los valores altos de precipitaciones que registraron PISCO y SENAMHI para la cuenca Ocros.

En el modelado de la Figura 88 se presenta la diferenciación de zonas en la subcuenca del río Ocros, según el valor de erosividad calculado.

Figura 74: Distribución de valores de R en la subcuenca Ocros período 1973-2021



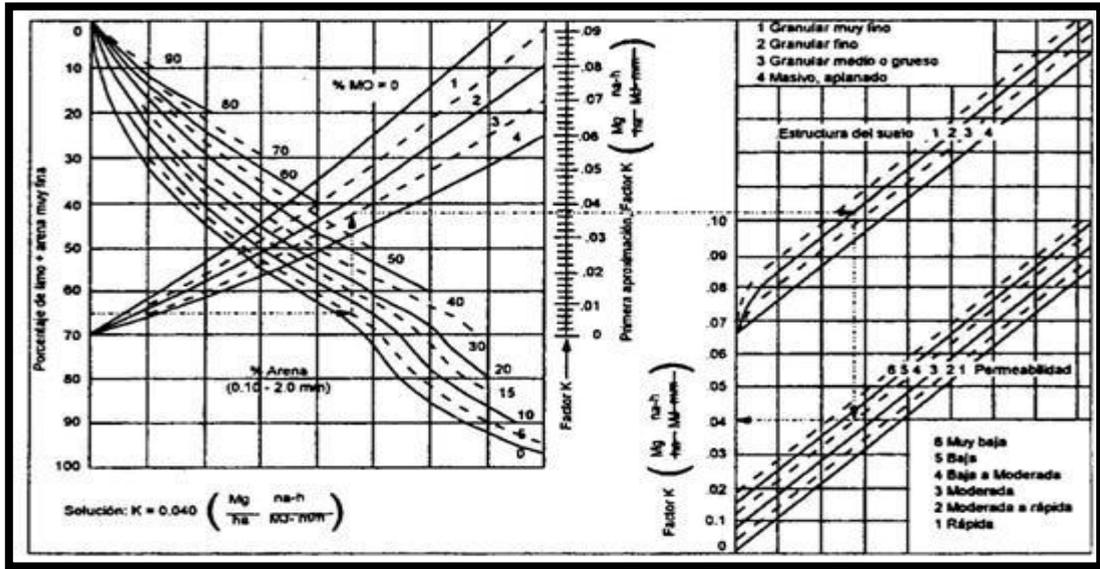
Fuente: elaboración propia.

El valor de erosividad máximo alcanzado en la subcuenca es de 410 [MJ.mm/ha.h] y valor mínimo obtenido fue 193 [MJ.mm/ha.h]. Son las zonas de la cuenca con mayor elevación donde se halló los valores de mayor erosividad (color rojo). En las zonas que comprenden el área urbana y alrededores del distrito de Ocros, zonas

de bajas de la cuenca, presentaron valores de baja de erosividad, además se halló valores intermedios de erosión para las zonas altas y bajas de la cuenca.

Parámetro de erodabilidad: Este factor describe la propiedad del suelo de ser erosionado, degradación a causa del impacto de la lluvia. Este factor está determinado directamente por la composición y estructura del suelo, sus propiedades físicas, mecánicas y químicas. Para calcular el factor K del suelo se requiere conocer la textura, estructura, contenido de carbono, permeabilidad, estructura de los agregados. Mediante los nomogramas de Wischmeier y Smith (1978) se calcula los valores determinantes de K, en estas tablas de presentan valores establecidos a partir de casos empíricos. También podemos utilizar la información directa de campo, la cual es obtenida luego de practicar ensayos y experimentaciones en los distintos tipos de suelo; esta información siendo más precisa es más costosa de realizarse. El Manual de Wischmeier y Smith (1978) contiene un gráfico que nos permite determinar el valor de K en función de la materia orgánica, composición, estructura del suelo y su valor de permeabilidad, ya que estos factores en el orden indicado, determinan el valor de erosionabilidad para cada tipo de suelo. Se sabe por experimentación que los suelos más erosionables son aquellos que tienen texturas intermedias (porcentaje de limos más abundante), teniendo en cuenta que una presencia mayor al 30% de arcillas en los suelos es indicador de un suelo poco erosionable. La reducción del porcentaje de limos incrementa la resistencia a la erosión de los suelos y la cohesión de sus componentes. Esto puede ocurrir al incrementarse la fracción arcillas o finos. Esta capacidad del suelo también puede ocurrir por un incremento del contenido de las partículas más gruesas como las arenas, mejorando la capacidad de infiltración y retrasando la aparición de escorrentía superficial. El porcentaje de materia orgánica aporta estabilidad a los componentes minerales del suelo mejorando su estructura y resistencia a la erosión.

Figura 75: nomogramas para hallar factor K



Fuente: Wischmeier y Smith

Figura 76: Ecuación para hallar el parámetro de erodabilidad K.

FACTOR K – Erodabilidad de Suelos

Fórmula Williams

$$K = 0.1317 f_{csand} \cdot f_{cl-si} \cdot f_{orgc} \cdot f_{hisand}$$

$$f_{csand} = \left(0.2 + 0.3 \exp \left[-0.0256 m_s \left(1 - \frac{m_{silt}}{100} \right) \right] \right) = A$$

$$f_{cl-si} = \left(\frac{m_{silt}}{m_c + m_{silt}} \right)^{0.3} = B$$

$$f_{orgc} = \left[1 - \frac{0.25 orgC}{orgC + \exp[3.72 - 2.95 orgC]} \right] = C$$

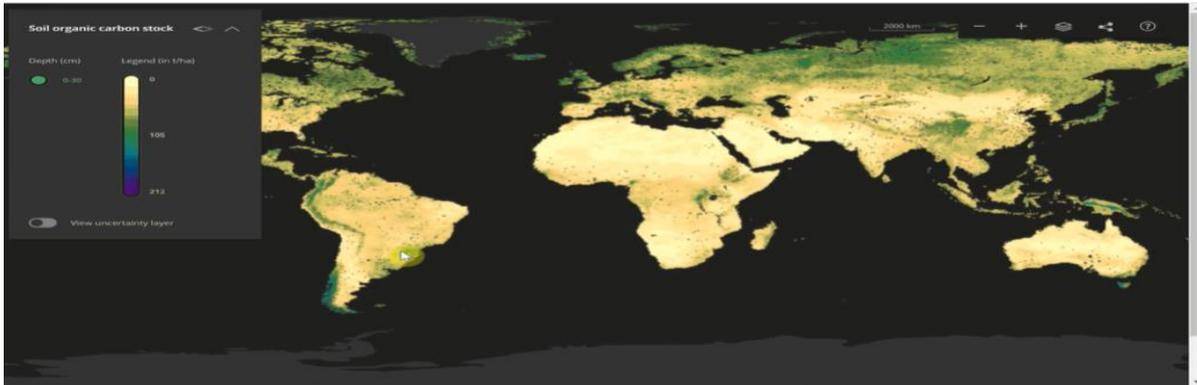
$$f_{hisand} = \left[1 - \frac{0.70 \left(1 - \frac{m_s}{100} \right)}{\left(1 - \frac{m_s}{100} \right) + \exp[-5.51 + 22.9 \left(1 + \frac{m_s}{100} \right)]} \right] = D$$

Fuente: Wischmeier y Smith

Los datos utilizados para el cálculo de K se obtuvieron del server Google Earth Engine y de la plataforma FAO. Se importo desde Digital Soil Mapo of the World-Esri en formato shapefile las propiedades numéricas estándar del suelo (permeabilidad, infiltración, composición, espesor de capas, material orgánico,

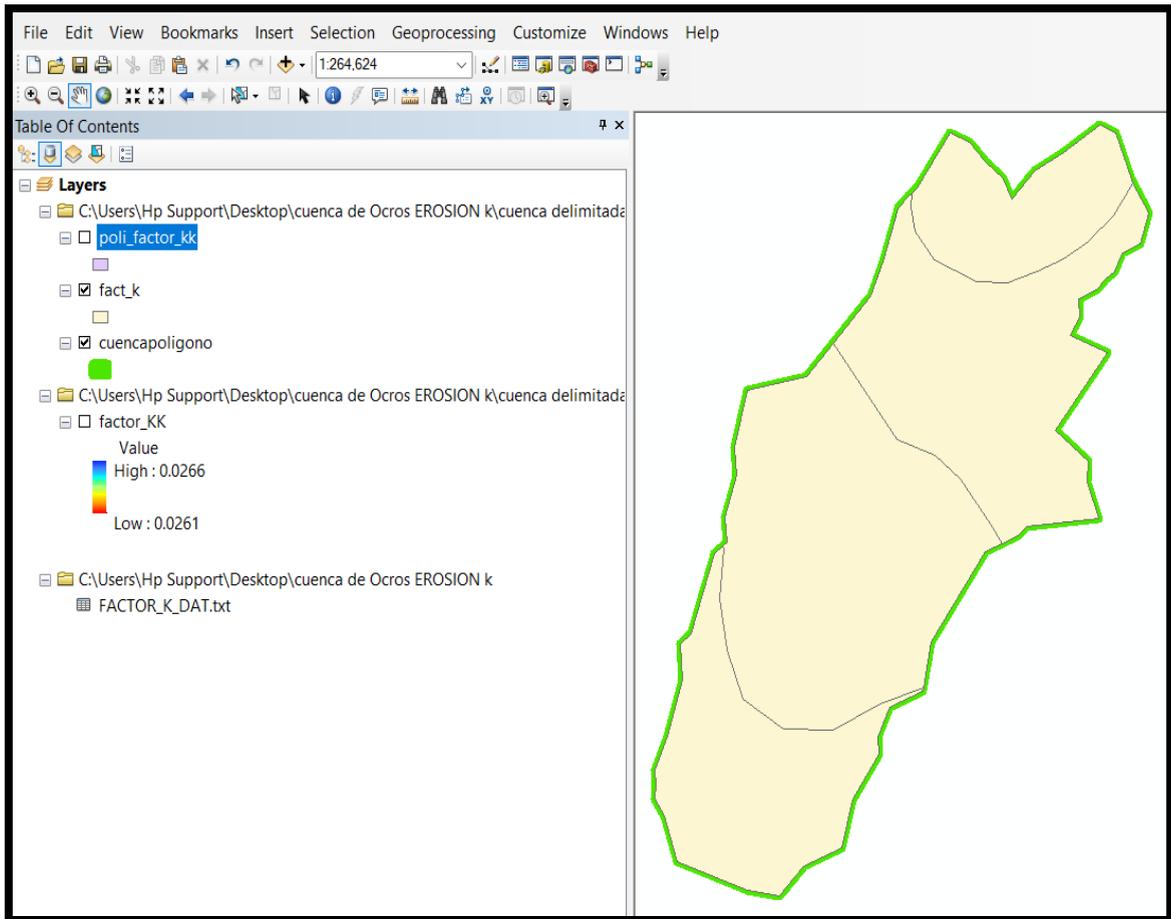
densidad aparente, textura del suelo, porcentaje de componentes gruesos, etc.). Se exportaron los archivos de tipos de suelos a ArcGis para elaborar los mapas que muestran la zonificación de la cuenca según los tipos de suelos presentes según la presencia de material orgánico, arenas, gravas, arcillas y limos en cada punto georreferenciado. Se utilizó las tablas para hallar el coeficiente de textura por cada tipo de suelo de la subcuenca Ocros.

Figura 77: *FAO archivos de mapas de suelos del mundo para descargar*



Fuente: FAO

Figura 78: distribución de valores del parámetro K con ArcGis.



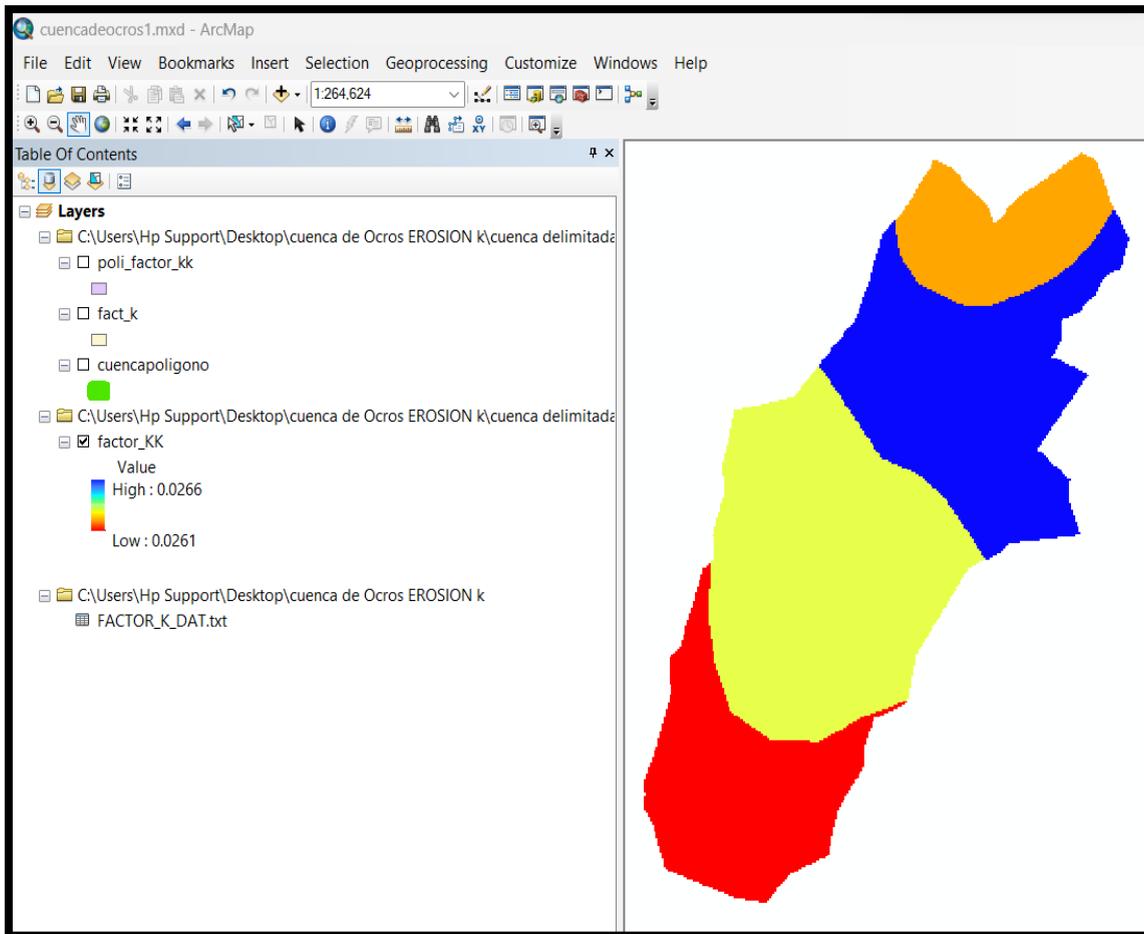
Fuente: elaboración propia.

Tabla 22: Cálculo de valores k mediante Excel.

Zhu et.al. (2014)											
FID	DOMSOI	ARENA(%)	LIMO(%)	ARCILLA(%)	CARBONO ORGANICO(%)	A	B	C	D	K RUSLE	K
0	I	58.9	16.2	24.9	0.97	0.285	0.756	0.927	0.99382356	0.198	0.0261
1	I	58.6	16.1	24.8	0.96	0.285	0.756	0.929	0.99418869	0.199	0.0262
2	I	58.5	16	24.7	0.95	0.285	0.756	0.931	0.99430565	0.200	0.0263
3	I	58.4	16.3	24.4	0.93	0.286	0.760	0.935	0.9944203	0.202	0.0266
MEDIA						0.2853	0.7570	0.9307	0.9942	0.1998	0.0263
Rango típicos del factor K anual es:						MODERADO					

Fuente: elaboración propia.

Figura 79: valores de erodabilidad K en ARCGIS



Fuente: elaboración propia.

Figura 80: valores del factor K con ArcGIS.

Table														
poli_factor_kk														
	FID	Shape *	FAOSOIL	DOMSOI	ARENA	LIMO	ARCILLA	CO	A	B	C	D	K_RUSLE	K
	0	Polygon	I-c	I	58.9	16.2	24.9	0.97	0.285	0.756	0.927	0.994	0.198	0.0261
	1	Polygon	I-Bh-Tv-c	I	58.6	16.1	24.8	0.96	0.285	0.756	0.929	0.994	0.199	0.0262
	2	Polygon	I-KI-c	I	58.5	16	24.7	0.95	0.285	0.756	0.931	0.994	0.2	0.0263
	3	Polygon	I-HI-KI-bc	I	58.4	16.3	24.4	0.93	0.286	0.76	0.935	0.994	0.202	0.0266

Fuente: Elaboración propia.

La cuenca en estudio presenta 04 grandes tipos de suelo con diferentes cantidades de carbono orgánico, limos, arenas, arcillas y gravas ver tabla 43 dichos valores

fueron obtenidos de las tablas de clasificación de la FAO y distribuidas en nuestra zona de estudio. A partir de ahí se obtuvo valores de k que no representan gran variabilidad siendo el menor valor 0.0261(Ton*h /MJ*mm) que se ubica en la subcuenca baja y el mayor valor 0.0266 (Ton*h /MJ*mm) en la subcuenca intermedia alta.

Parámetro Topográfico: El valor de LS se obtiene del producto de la longitud media de los taludes y la pendiente promedio de las laderas de la subcuenca. La erosividad de las escorrentías se incrementa al presentarse velocidades de flujo máximas. Esta velocidad de escorrentía se determina por la longitud de la ladera y el valor de la pendiente, es decir que ha mayor pendiente y longitud la erosión hídrica de las tierras ocasionada por la escorrentía será mayor (Kim, 2006). En el cálculo del parámetro LS se empleó la expresión matemática propuesta por Weischmeier y Smith (1978). Para determinar el factor LS se importaron modelos de elevación digital (DEM) del server GEO GPS con una altura de resolución de 25 mts. Con el DEM se procedió delimitar la cuenca mediante el software ArcGis. Con el modelo digital de la cuenca se obtuvieron los datos topográficos, las pendientes en grados (°) y radianes (rad), para determinar los valores de “m”. también se estableció la acumulación y dirección del agua, para hallar el valor de lambda necesario en el cálculo del factor LS. Para obtener el valor de lambda empleamos el ráster para el flow accumulation, así mismo la resolución geoespacial del ráster, según se indica en la expresión propuesta por Bolton et al. (1995).

$$\lambda = \left(\frac{\text{acumulación de flujo} \times \text{longitud del píxel}}{3.1416} \right)^{0.5}$$

Para el cálculo de LS, según el método RUSLE (Renard et al., 1997), generamos la multiplicación de mapas del software Arcgis. Donde el parámetro de longitud ha establecido que, el porcentaje promedio de suelo erosionado en toda la extensión de la subcuenca, varía según la siguiente ecuación:

$$L = \left(\frac{\lambda}{22.13} \right)^m$$

En esta ecuación 22.13 metros es la longitud estándar de escorrentía para una parcela utilizada en los cálculos de la metodología RUSLE, “m” es una variable exponencial en razón a la pendiente $m = F/(1+F)$ y también es determinada la relación de erosividad en canales a entrecanales o surcos (ocasionado por la fuerza

de las precipitaciones).

Figura 81: Ecuación para determinar L.

FACTOR L
Foster, 1977

$$L = \left(\frac{\lambda}{22.13} \right)^m, \quad m = \frac{F}{1+F}, \quad F = \frac{\sin \beta / 0.0896}{3(\sin \beta)^{0.8} + 0.56}$$

Con los SIG, DESMET & GOVER, VELAZQUEZ, 2008

$$L_{(i,j)} = \frac{[A_{(i,j)} + D^2]^{(m+1)} - A_{(i,j)}^{m+1}}{x^m D^{m+2} (22.13)^m}$$

Donde:
 β - Pendiente a nivel de pixel (debe estar expresa en radianes, a grados multiplicar por 0.01745)
 A - Acumulación del flujo a nivel del pixel
 D - Lado del Pixel
 x- Coeficiente de forma (x=1 para sistemas pixelados)

Fuente: Manual de RUSLE

Para hallar el valor de la pendiente o parámetro de inclinación (S), la metodología RUSLE ofrece un solo criterio de cálculo ya sea para valores de pendiente por debajo del 9 % así también empleamos para gradientes iguales o mayores al valor referido. Los parámetros de cálculo se proponen por Weischmeier y Smith (1978), quienes estiman el valor del parámetro de inclinación del talud (S) con la siguiente ecuación:

Figura 82: ecuación para determinar S.

FACTOR S
McCOOLS

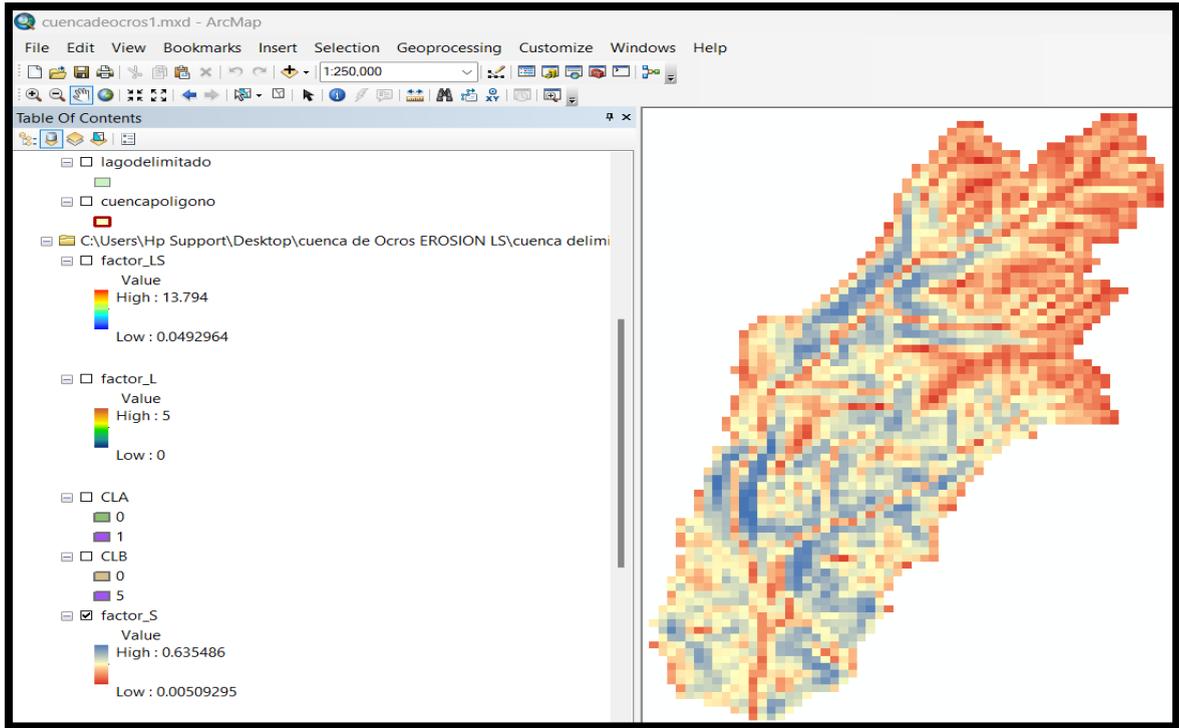
Cuando $\tan \beta_{(i,j)} < 0.09$	$S_{(i,j)} = 10.8 \sin \beta_{(i,j)} + 0.03$
Cuando $\tan \beta_{(i,j)} \geq 0.09$	$S_{(i,j)} = 16.8 \sin \beta_{(i,j)} - 0.5$

Fuente: Manual RUSLE

De esta manera, se elaboró el mapa siguiente de inclinación mediante ArcGis, tal

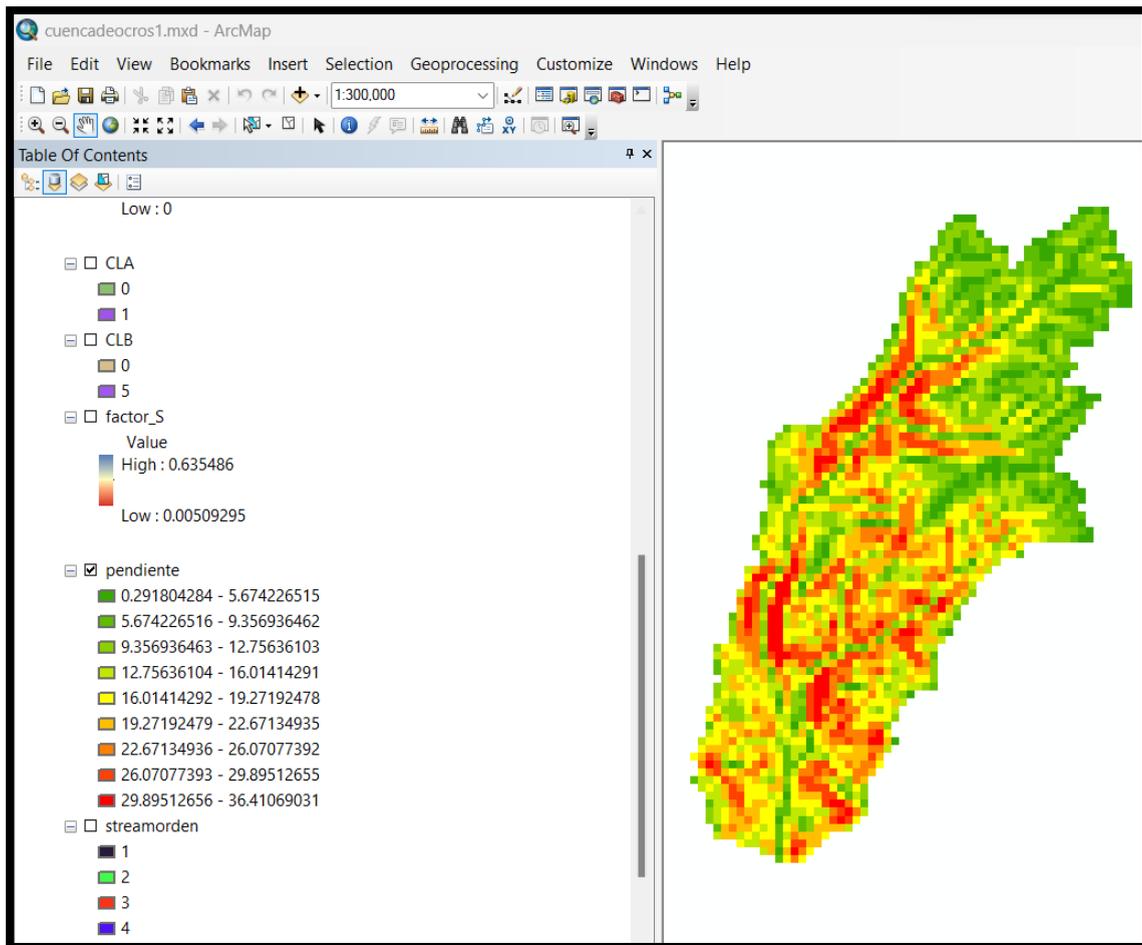
como se ilustra en la Figura 83.

Figura 83: pendiente factor S en radianes.



Fuente: elaboración propia.

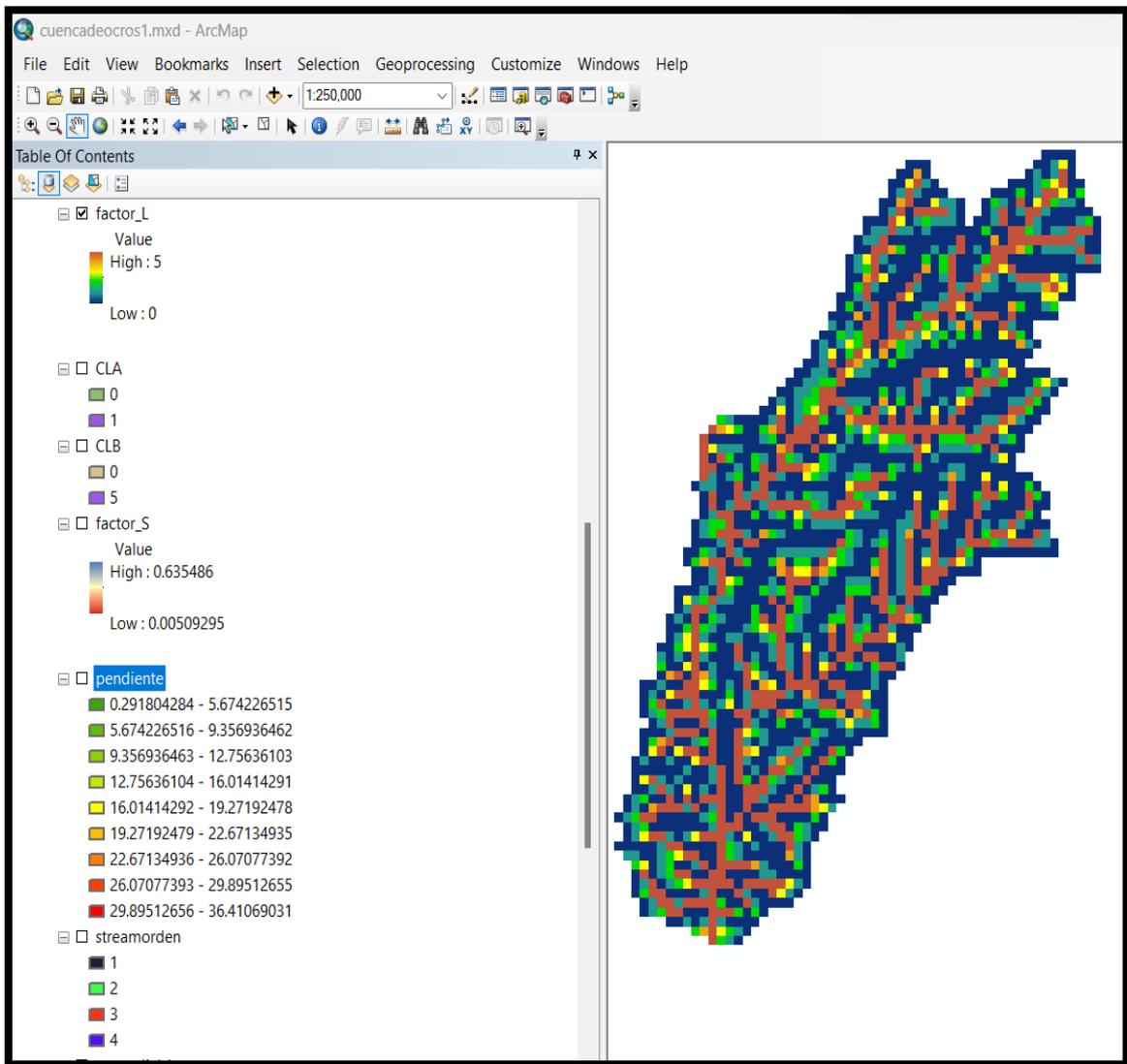
Figura 84: Pendiente factor S en grados



Fuente: elaboración propia.

Se obtuvo como resultado que la pendiente mínima fue 0.29° de inclinación, esta pendiente se da en zonas bajas de la subcuenca cercanas a la zona costera (Tres cruces – Huanchay). La pendiente máxima alcanzó 36.4° en las zonas altas de la subcuenca (anexo de Cochapata – Macopata). Los altos relieves de la sierra de Ocos presenta laderas escarpadas de ahí el incremento de la pendiente.

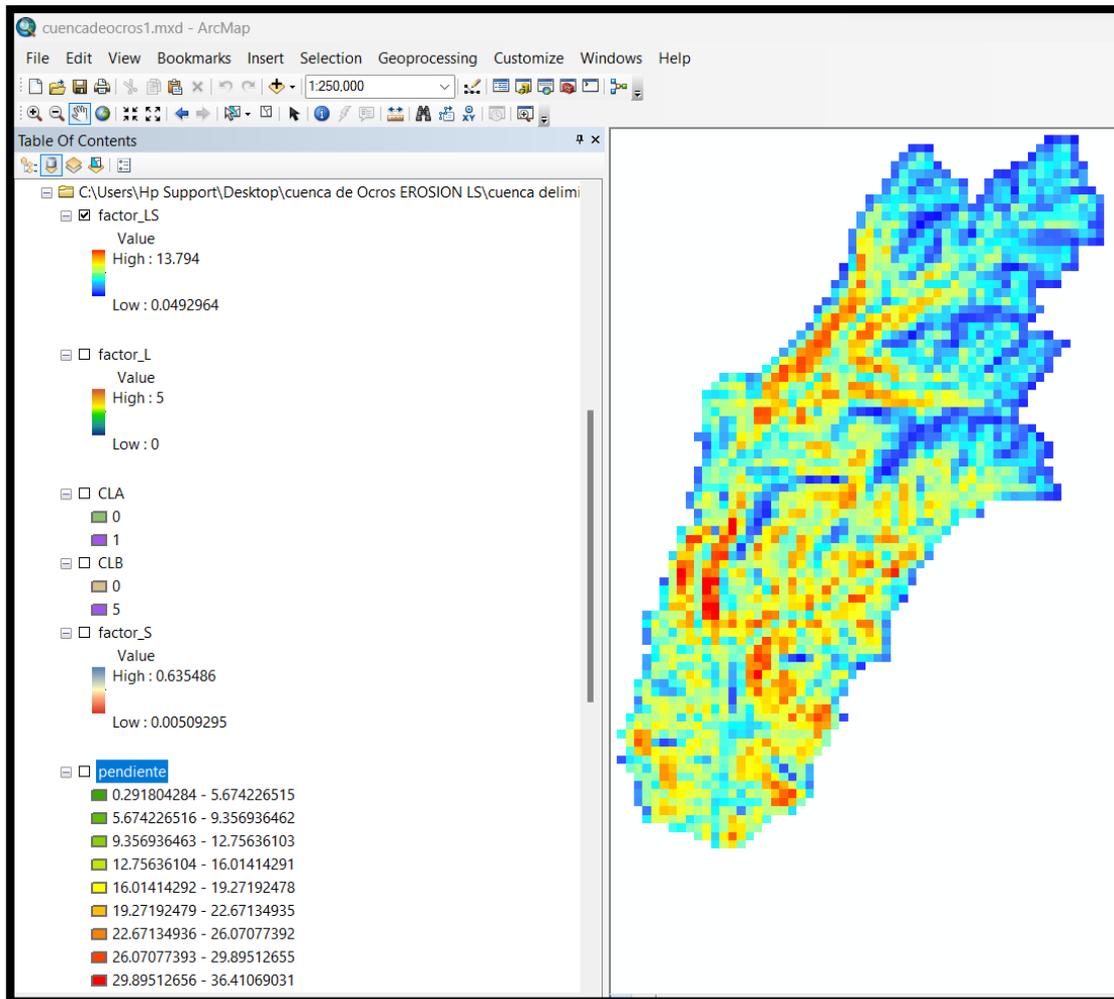
Figura 85: distribución de los valores del factor L



Fuente: elaboración propia.

La gradiente de inclinación de la pendiente, factor S, causa un mayor efecto en la erosión de suelos que el parámetro L o longitud de pendiente. Una vez realizado el procesamiento de la información importada al ArcGis, junto con su respectivo proceso la calculadora de mapas, se obtuvo los productos del parámetro LS que determina a la subcuenca del Río Ocos. A través del modelamiento de un mapa topográfico, presentado en la Figura 64, se determinó para la extensión de la subcuenca que el parámetro topográfico tiene un valor máximo de 13.794.

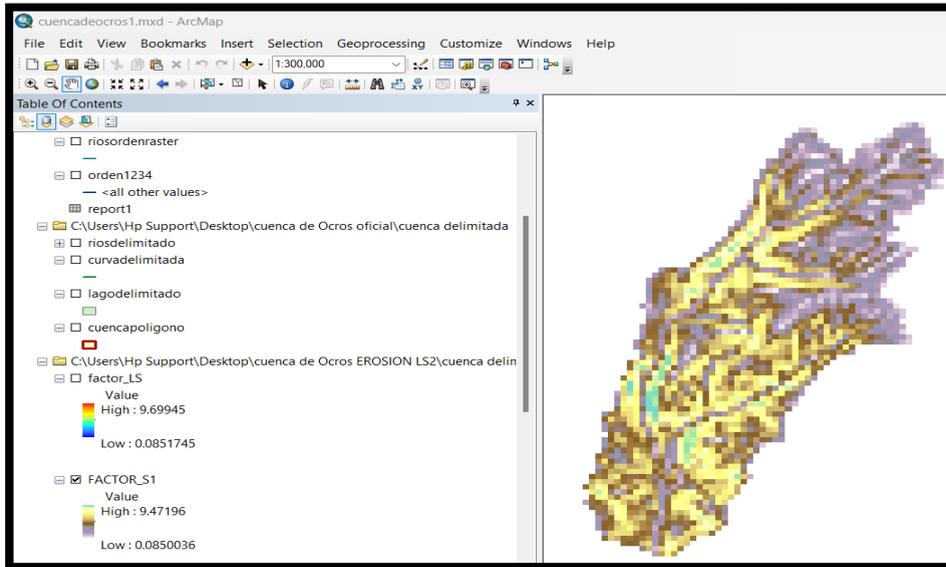
Figura 86: distribución de los valores del factor LS.



Fuente: elaboración propia.

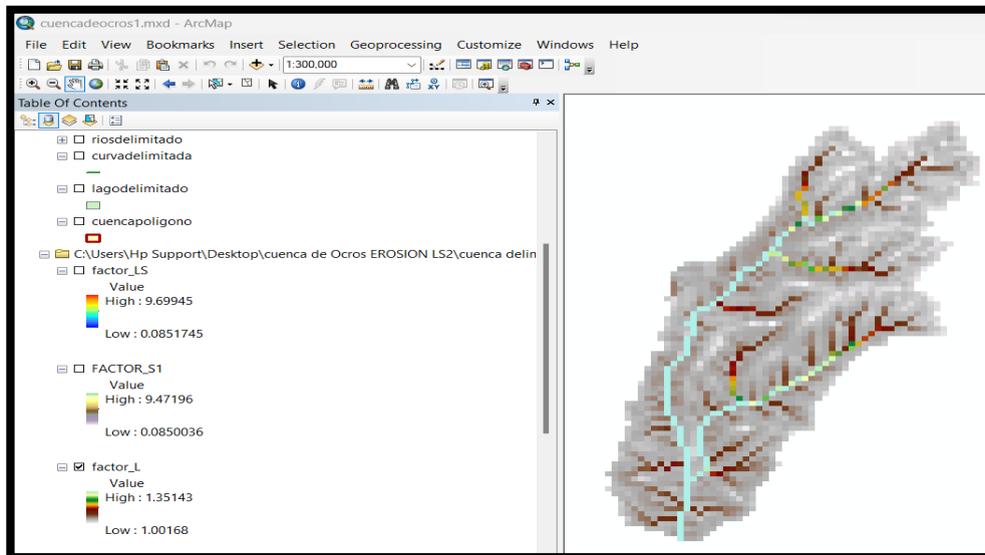
La subcuenca del río Ocros presenta valores que oscilan entre 0.04929 y 13.794. También se utilizó, para calcular el factor LS, un método adicional utilizando como insumo los valores de la pendiente en grados pero que no representa el factor S, el cual es determinado mediante fórmula que se muestra en la figura 87 factor S1, luego se calcula el factor L (L1) figura 88.

Figura 87: distribución de los valores del factor S (S1)



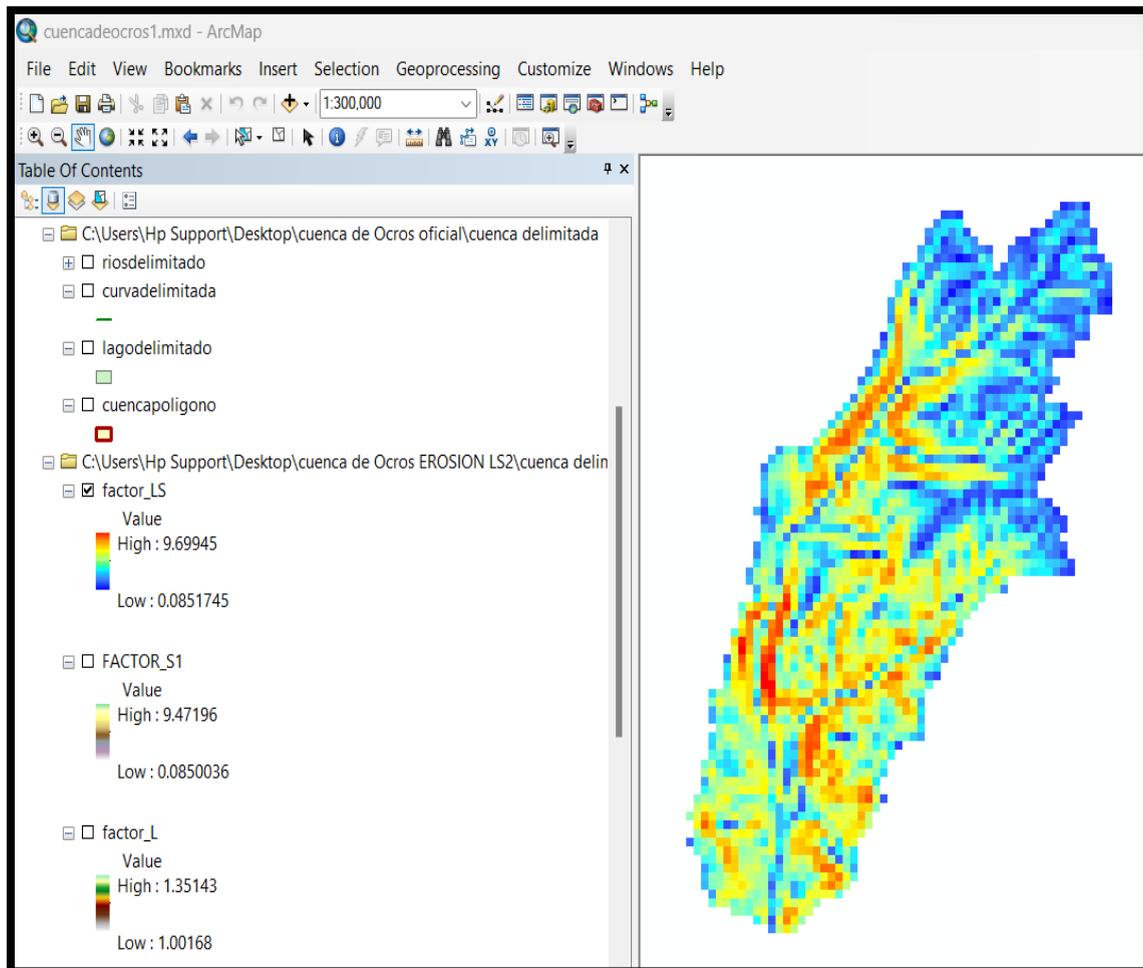
Fuente: elaboración propia.

Figura 88: distribución de los valores del factor L (L1)



Fuente: elaboración propia.

Figura 89: distribución de los valores del factor LS (LS1)



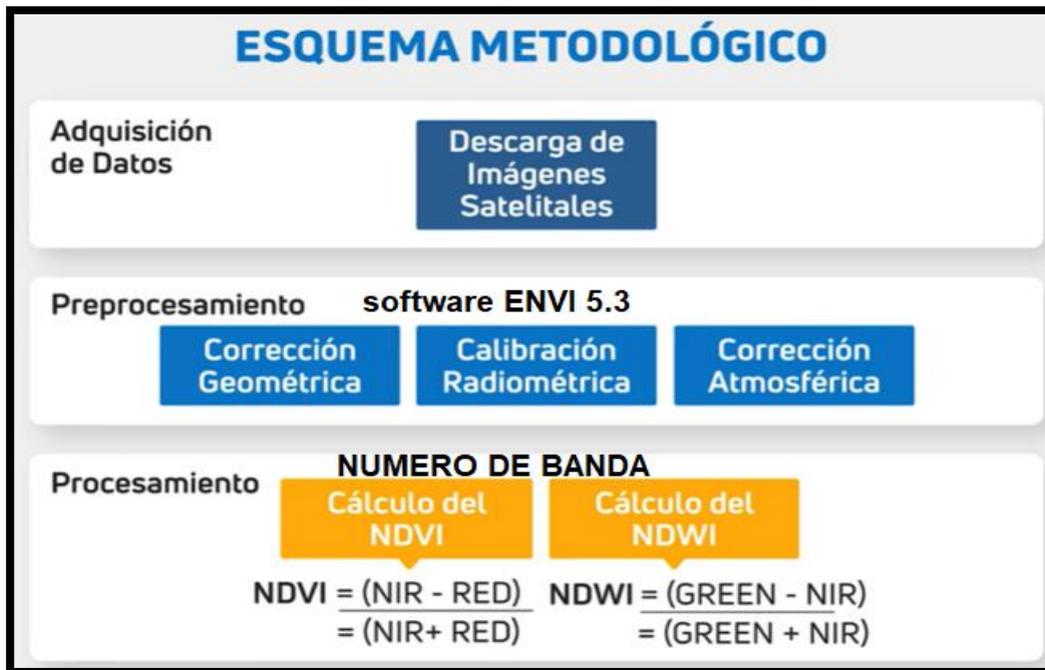
Fuente: elaboración propia.

De las dos formas de calcular el factor LS nos quedamos con la primera ya que nuestro objetivo es gestión de cuencas y por eso nos ponemos por el lado más desfavorable. Por lo cual tenemos un valor mínimo de 0.049 y un valor máximo de 13.794 tener en cuenta que estos valores son adimensionales.

Parámetro de Cobertura Vegetal: este factor cuantifica la efectividad de la vegetación natural o de cultivo que actúan como superficie o cubierta que protege al suelo del impacto de las gotas de lluvia, la energía cinética y la fuerza del flujo superficial con la que es erosionado el suelo. en nuestro estudio emplearemos los

mapas raster del server Landsat y la metodología Corine Land Cover, además de capas vectoriales que contengan polígonos a cada uno de los cuales se le dará el valor de uso de suelo respectivo, con lo cual se obtendrá el valor de C.

Figura 90: Esquema metodológico para el cálculo de la cobertura vegetal



Fuente: Esquema metodológico.

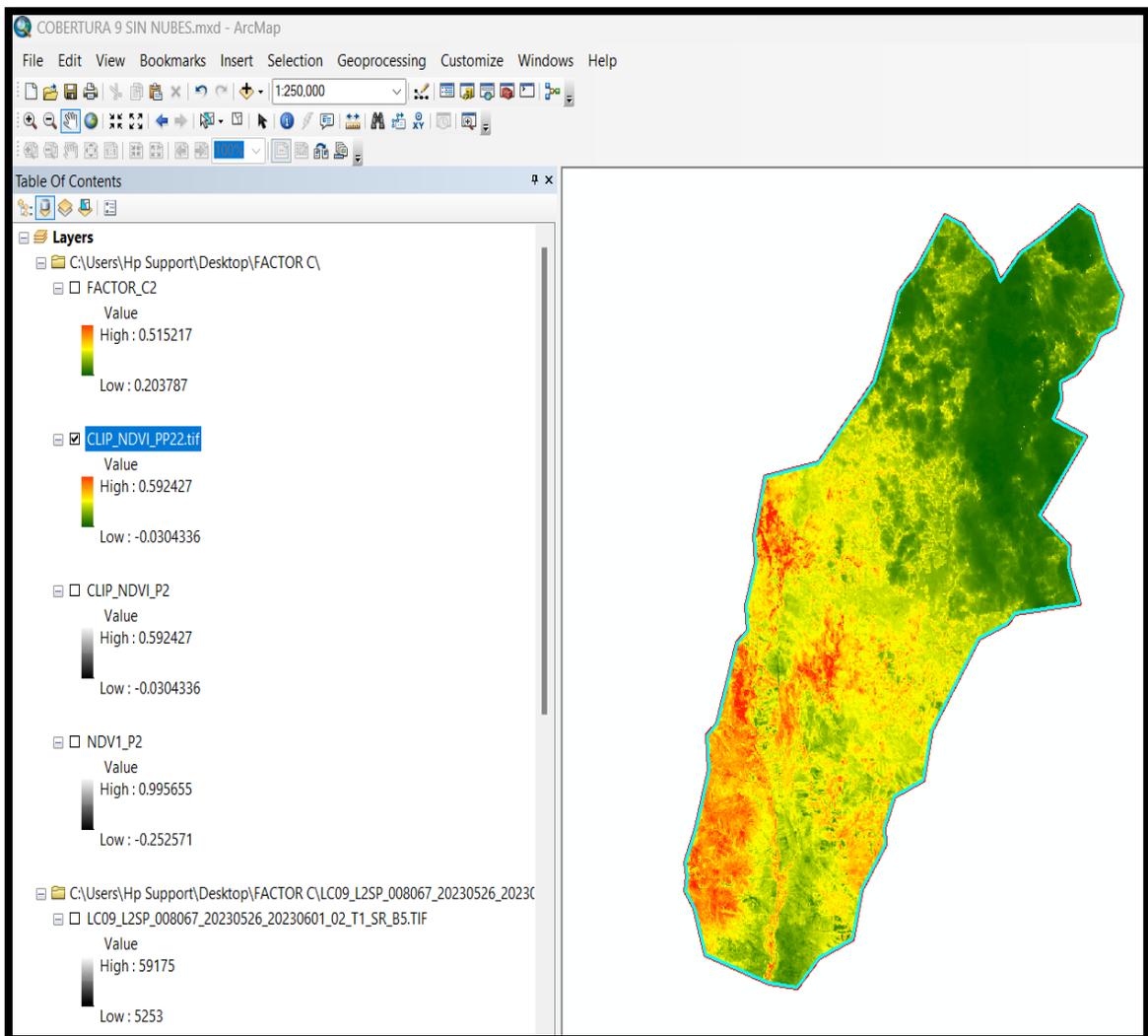
Para conseguir lo mencionado hemos descargado imágenes satelitales Landsat 8 u 9 y hemos seleccionado de acuerdo con nuestra zona de estudio, descargadas dichas imágenes con el software ENVI 5.3 hemos realizado correcciones radiométricas y atmosféricas y luego hemos guardado dichas nuevas imágenes, guardamos dicho archivo para luego ser exportado a ArcMap. Estando en ArcMap importamos el archivo trabajado en ENVI y también abrimos el archivo polígono de la cuenca y calculamos el valor del NDVI se utiliza la banda 5 y la banda 4.

Figura 91: clasificación de valores de NDVI

RANGOS DE NDVI	
CLASIFICACION DE LOS VALORES DE NDVI	
CLASIFICACIÓN	VALOR
Suelo sin cobertura vegetal (S.S.V)	< 0.1
Suelo con vegetación mixta (S.V.M)	0.1-0.2
Suelo con vegetación poco densa (S.V.P.D)	0.2-0.4
Suelo con vegetación densa (S.V.D)	> 0.4

Fuente: clasificación NDVI

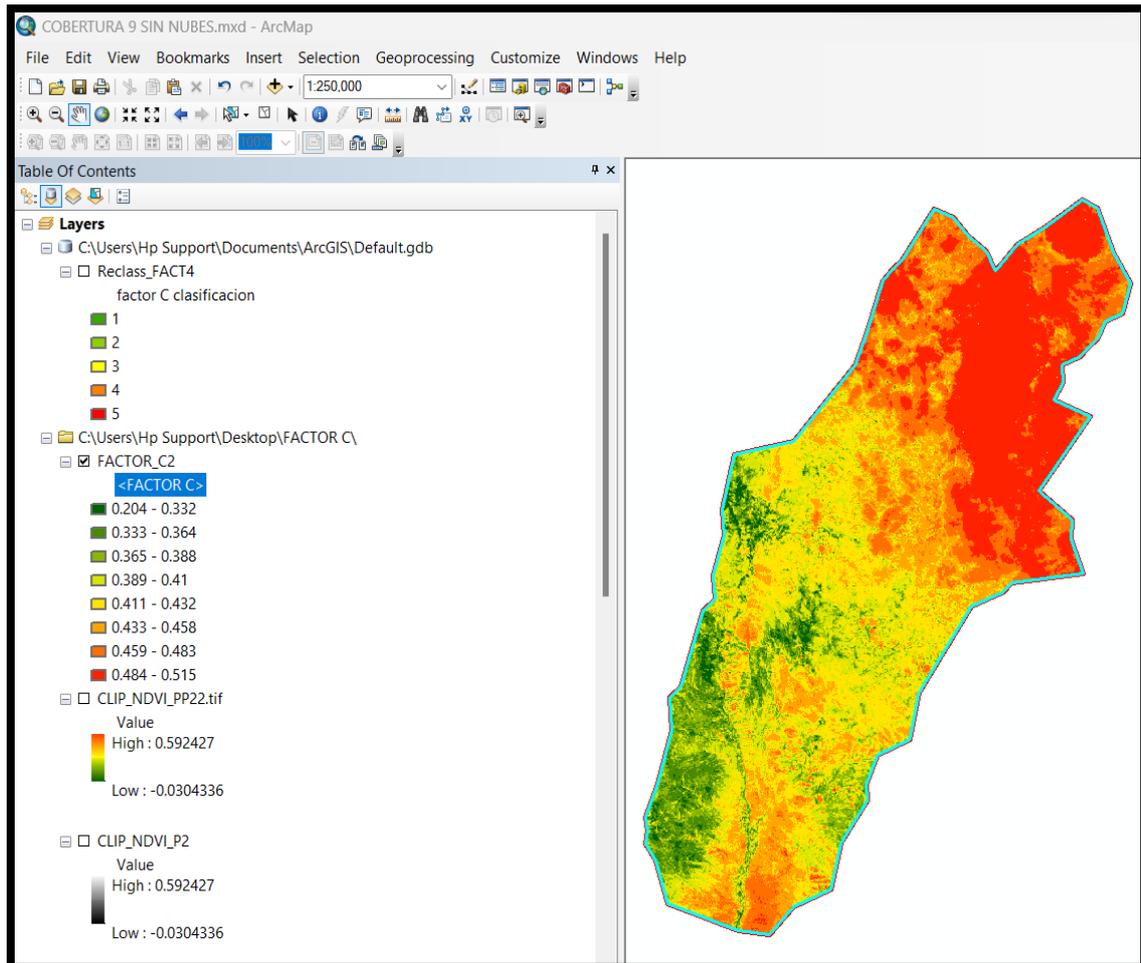
Figura 92: Cálculo de los valores de NDVI



Fuente: elaboración propia.

Luego calculamos el factor C aplicando la fórmula que se adapta a nuestra zona de estudio $C = (1 - NDVI) / 2$ en el grafico se muestra los valores obtenidos.

Figura 93: valores de cobertura vegetal entre 0 a 1



Fuente: elaboración propia.

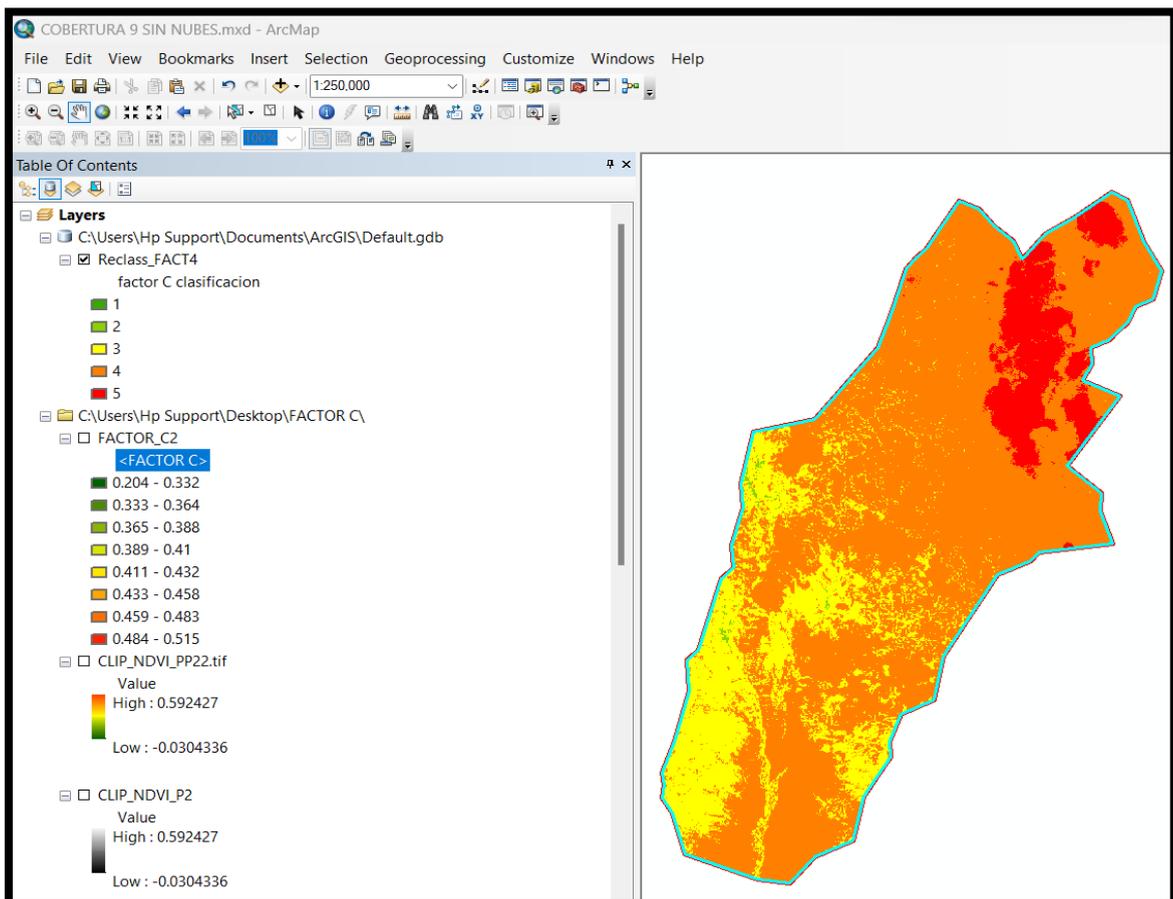
Figura 94: valores que asume la cobertura vegetal y su clasificación

: Factor C, según tipo y cobertura de uso del suelo en el área de estudio

Factor C	Descripción
$\leq 0,1$	Bosque y selva nublada
0,1 – 0,2	Bosque, cultivos y pastizales
0,2 – 0,3	Matorrales y pastizales
0,3 – 0,4	Cultivos y pastoreo
0,4 – 0,5	Cultivo y arbustales
0,5 – 0,6	Vegetación Escasa
0,6 – 0,9	Vegetación semiárida y terrenos y cultivos
$\leq 0,9$	Suelo desnudo

Fuente: clasificación NVDI

Figura 95: factor C de acuerdo a los valores obtenidos clasificado en 5 zonas



Fuente: elaboración propia.

Combinado valores de C y su clasificación se obtiene la siguiente tabla

Figura 96: valores de C relacionado con el área de la cuenca de estudio

Rowid	VALUE	COUNT	AREA	MIN	MAX	RANGE	MEAN	STD	SUM
1	1	9	1406.25	0.203787	0.203787	0	0.203787	0	1.834079
2	2	6688	1045000	0.209381	0.299997	0.090616	0.280176	0.017723	1873.820318
3	3	603919	94362343.75	0.300003	0.399994	0.099991	0.372926	0.020779	225217.276749
4	4	2091524	326800625	0.4	0.499995	0.099995	0.448293	0.030002	937615.85893
5	5	255124	39863125	0.500005	0.515217	0.015211	0.5036	0.002267	128480.493793

Fuente: elaboración propia.

Tabla 21: Cálculo del valor ponderado de C

Descripción	Rango de valores de C	AREA	%AREA	C	Ci*Ai	C ponderado
Bosques cultivos y	<0.2	1406.25	0.0003	0.15	210.9375	0.438
Matorrales y pastizales	0.2-0.3	1045000	0.2262	0.25	261250	
cultivos y pastoreo	0.3-0.4	94362343.8	20.4215	0.35	33026820.31	
cultivo y arbustos	0.4-0.5	326800625	70.7250	0.45	147060281.3	
vegetación escasa	0.5-0.6	39863125	8.6270	0.55	21924718.75	
		462072500	100.0000		202273281.3	

Fuente: elaboración propia.

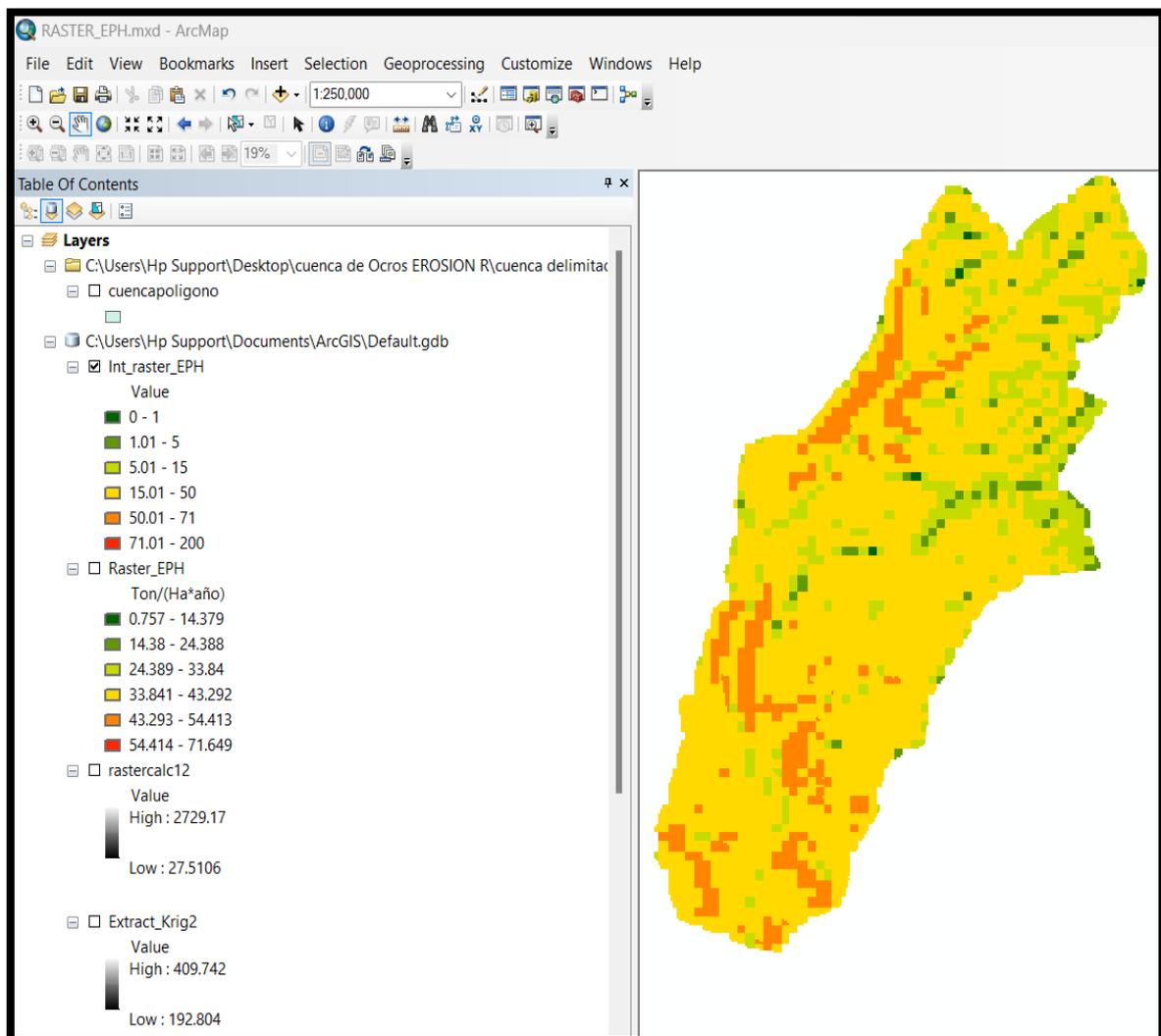
De la tabla se infiere que el 70% de la zona de estudio corresponde a cultivo y arbustos y el 0.2% representa matorrales y pastizales y el 8.6% es de vegetación escasa lo cual nos indica que es una zona altamente erosionable además se haga calculado el valor C ponderado para la subcuenca Ocros que es 0.438 es un valor representativo ponderado para toda la subcuenca.

Parámetro de prácticas de manejo y conservación del suelo: Para determinar el factor P se realizó la visita en campo a diversas zonas representativas de la subcuenca de Ocros, podemos inferir no se ha evidenciado prácticas de manejo en la zona de estudio, asimismo los pobladores ratifican lo que hemos inferido por lo que estimamos que el valor del factor P es 1 para toda la subcuenca, por lo tanto, se concluye, que no se estimara el valor de P para este caso de análisis.

Erosión hídrica potencial EHP

Para calcular el índice de erosión se realiza el producto de los mapas de los factores de erosión calculados, R, K y LS en formato ráster. Se configura la calculadora de ArcGis para operar ráster. Con los mapas importados se verifica su georreferenciación en sistema WGS 84, zona Sur 18, también se configura la dimensión de los píxeles a 12.5 x 12.5. se ejecuta la multiplicación de mapas de parámetros según el método RUSLE. Con el mapa de erosión resultante se determina las zonas según los niveles propuestos por la FAO. Por último, se desarrolló el análisis del SIG según la metodología RUSLE para calcular la cantidad de pérdida de suelo anual, píxel por píxel, en la zona de la subcuenca del Río Ocros. El valor de pérdida anual promedio de suelo se ilustra en la Figura 97.

Figura 97: Mapa de Erosión Hídrica Potencial de Suelos del Modelo RUSLE



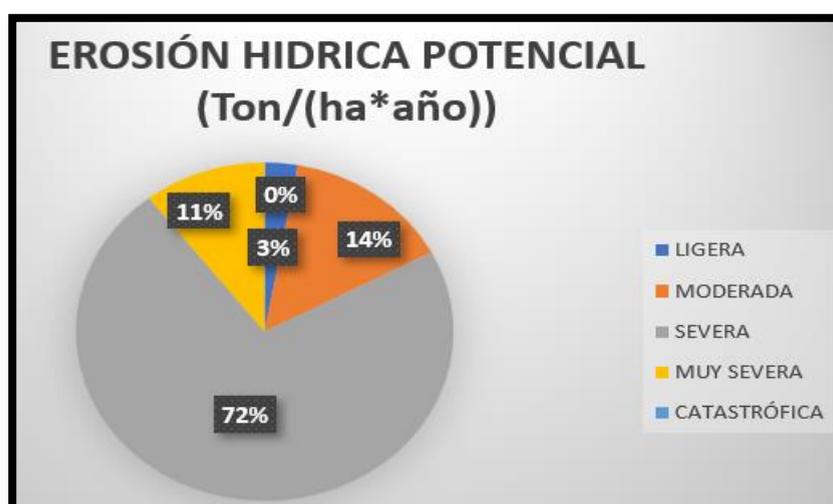
Fuente: elaboración propia.

Tabla 23: Erosión Hídrica potencial de la cuenca Ocros

EROSIÓN HÍDRICA POTENCIAL $EHP=R*K*LS$			
EHP(Ton/(Ha*año))	Area (Km2)	Porcentaje(%)	TIPO DE EROSIÓN
<0-5]	12.793	2.81	LIGERA
<5-15]	65.617	14.43	MODERADA
<15-50]	328.727	72.27	SEVERA
<50-200]	47.730	10.49	MUY SEVERA
>200	0.000	0.00	CATASTRÓFICA
	454.87	100.00	FAO 1980

Fuente: elaboración propia.

Gráfico 09: Erosión hídrica potencial



Fuente: elaboración propia.

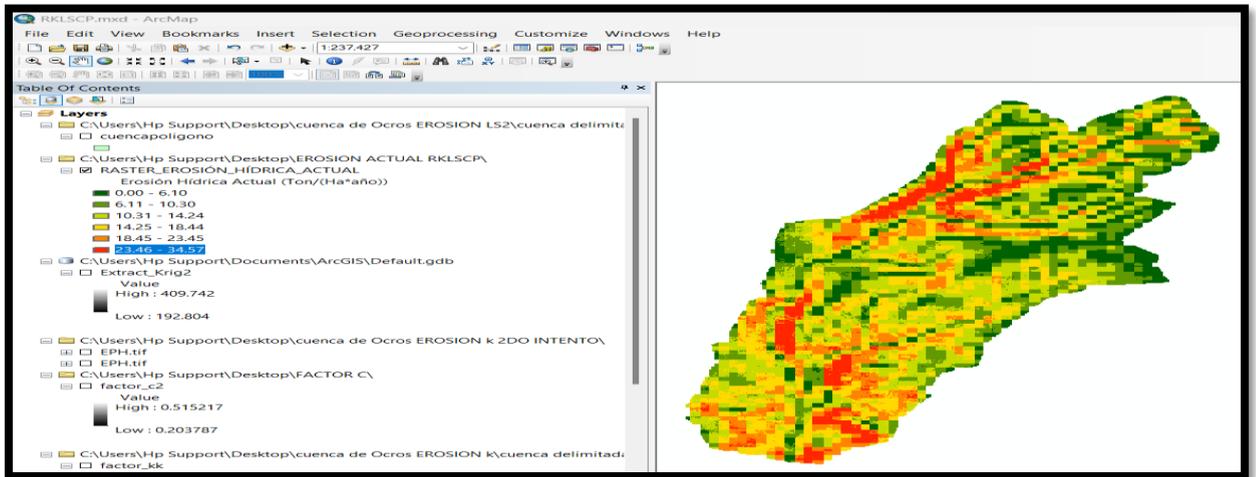
De los resultados presentados mediante mapas, tablas y gráficos circulares podemos decir la pérdida de suelo por erosión hídrica potencial estima un valor mínimo de 0.757 Ton/Ha*año y un valor máximo de 71.65 Ton/(ha*año) Asimismo, de acuerdo con la clasificación proporcionada por la FAO la cuenca Ocros el 10% de su área es considerada erosión muy severa y el 72.27% es considerada erosión severa.

EROSIÓN HÍDRICA ACTUAL EHA

Como ya se tiene todos los factores calculados procedemos a obtener la erosión hídrica actual $EHA = R*K*LS*C*P$ o también $EHA = EPH*C*P$ Ahora, para cuantificar el rango de pérdida de suelo vamos a utilizar la clasificación de la FAO del año 1980. En el anexo 27 se presentan los valores por punto para determinar

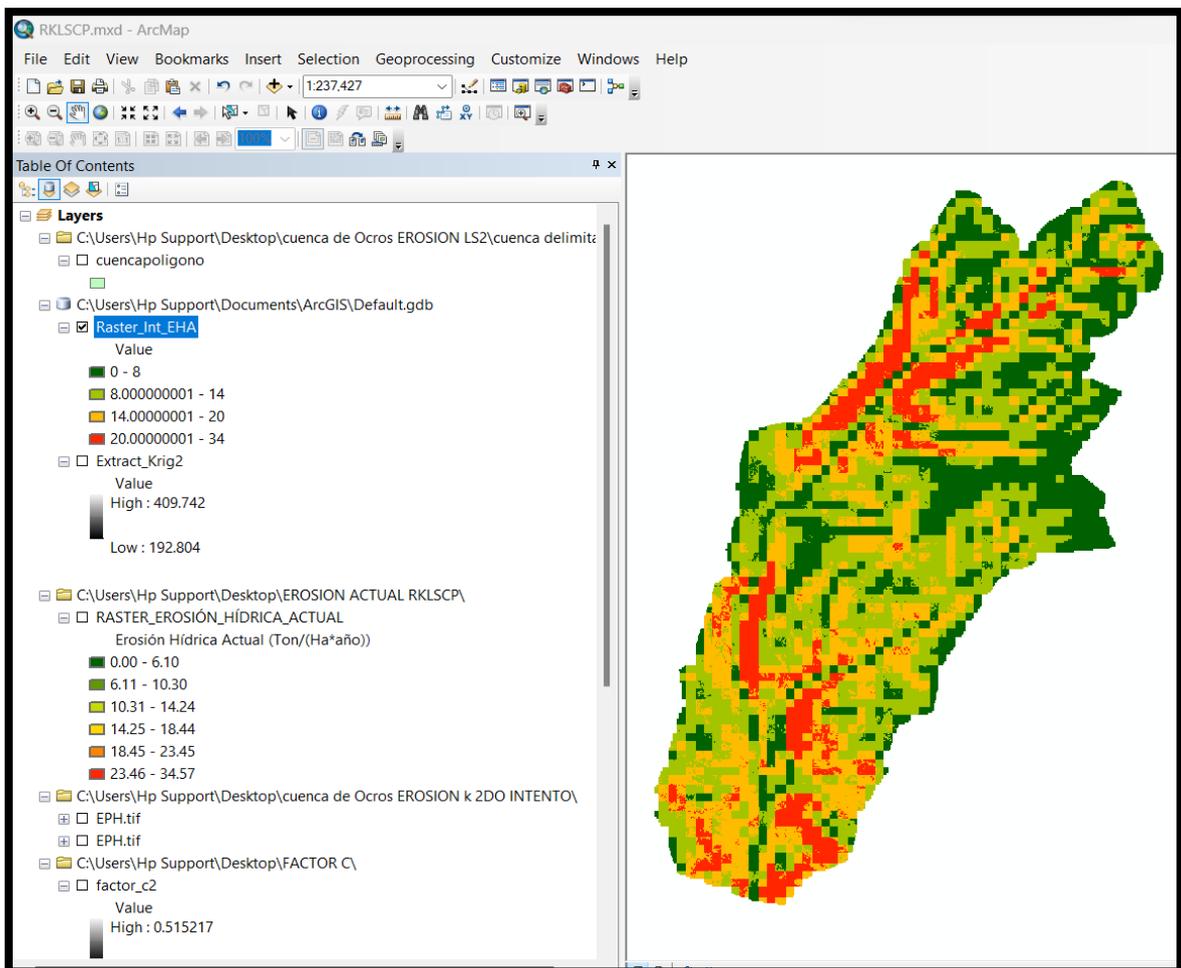
áreas afectadas de acuerdo a la FAO

Figura 98: Rango de valores de la erosión hídrica actual en Ton/(Ha*año)



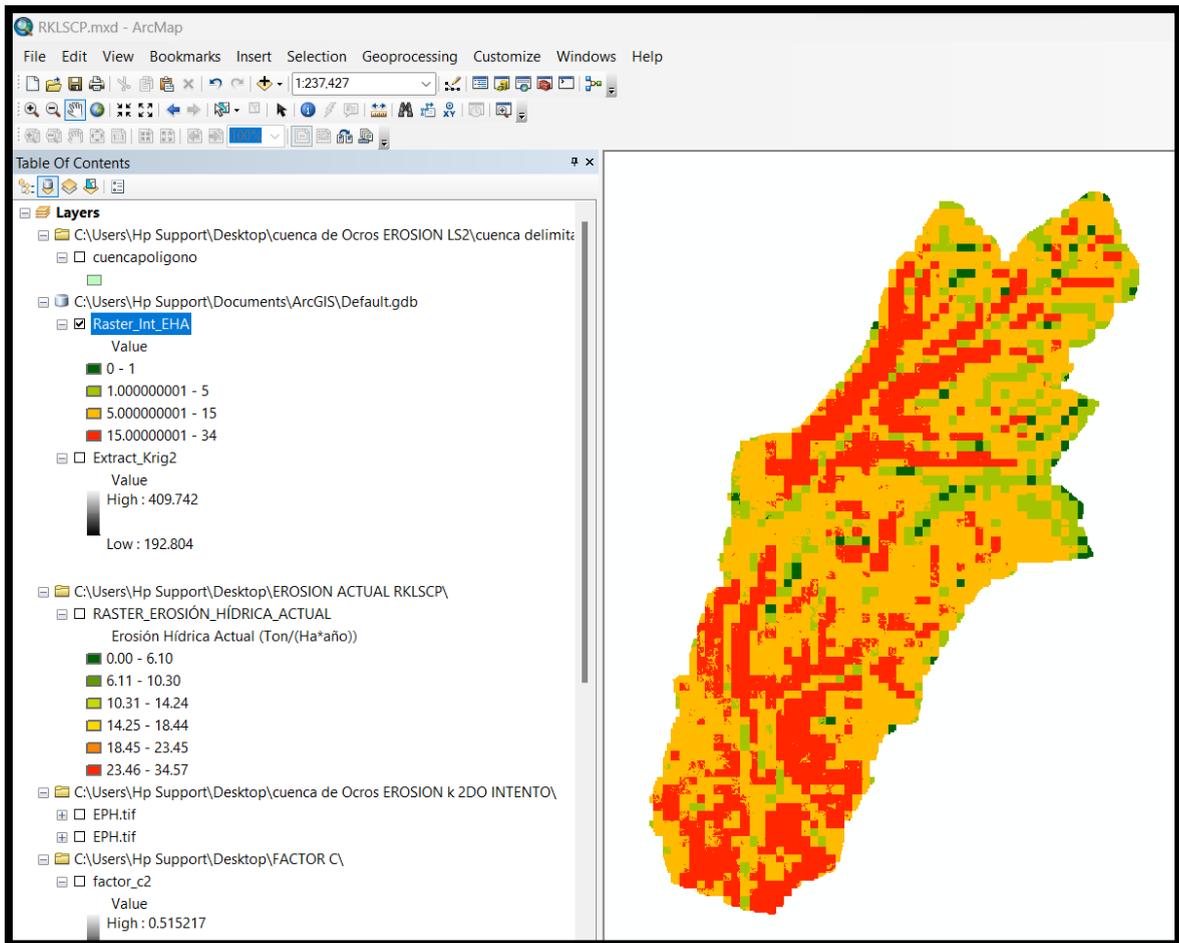
Fuente: elaboración propia.

Figura 99: Rango de valores enteros de la erosión hídrica actual en Ton/(Ha*año)



Fuente: elaboración propia.

Figura 99: Rango de valores de la erosión hídrica actual para su clasificación FAO



Fuente: elaboración propia.

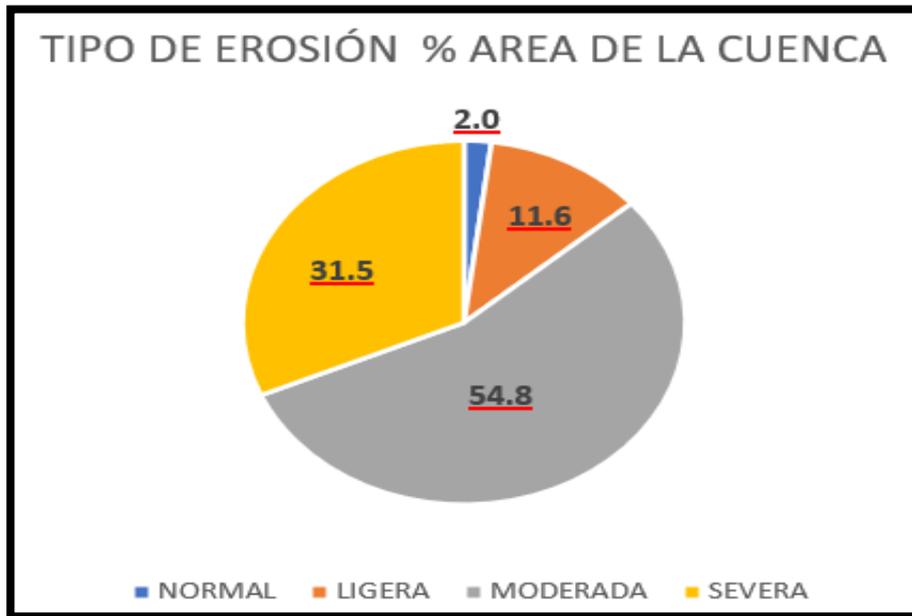
Tabla 24: Tipos de erosión de suelos distribuido por áreas en la subcuenca.

TIPOS DE EROSIÓN FAO (1980)

NIVEL	PÉRDIDA DE SUELO Ton/(Ha*año)	TIPO DE EROSIÓN	ÁREA DE LA CUENCA (KM2)	ÁREA DE LA CUENCA (%)
1	< 0.5	NORMAL	9.02	1.99
2	0.5-5	LIGERA	52.90	11.65
3	5-15	MODERADA	249.04	54.82
4	15-50	SEVERA	143.30	31.55
5	50-200	MUY SEVERA	0	0
6	>200	CATASTÓFICA	0	0
			454.27	100.00

Fuente: elaboración propia.

Gráfico 10: Tipo de erosión con su respectivo porcentaje de área



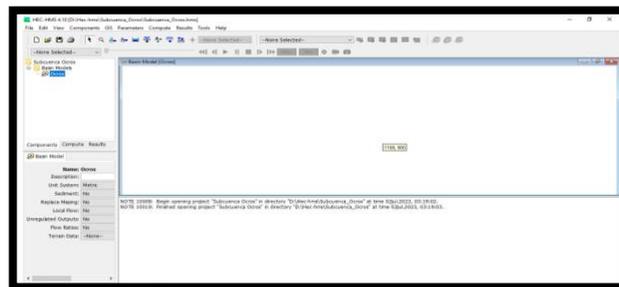
Fuente: elaboración propia.

Etapa 4: Modelo HEC-HMS

Datos de la subcuenca Ocros: para la alimentación del modelo HEC-HMS se utilizaron los datos hidrológicos y geomorfológicos de la subcuenca que ya han sido analizados, procesados y presentados en la etapa 1 y 2 de este procesamiento. Asimismo se debe resaltar que se hizo el análisis de precipitaciones y la caracterización de la subcuenca mediante el modelo HEC-HMS adicionalmente a los datos previamente tratados con Hydraccess y Hidroesta 2.

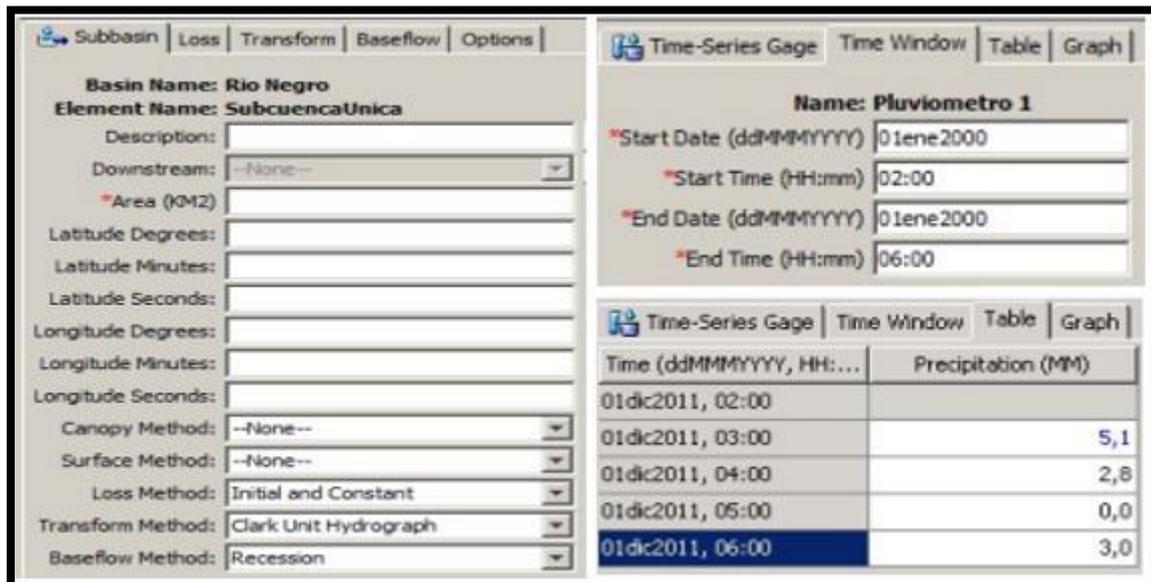
Procedimiento de creación de modelo HEC-HMS

Figura 100: creación de nuevo proyecto en HEC-HMS



Fuente: elaboración propia.

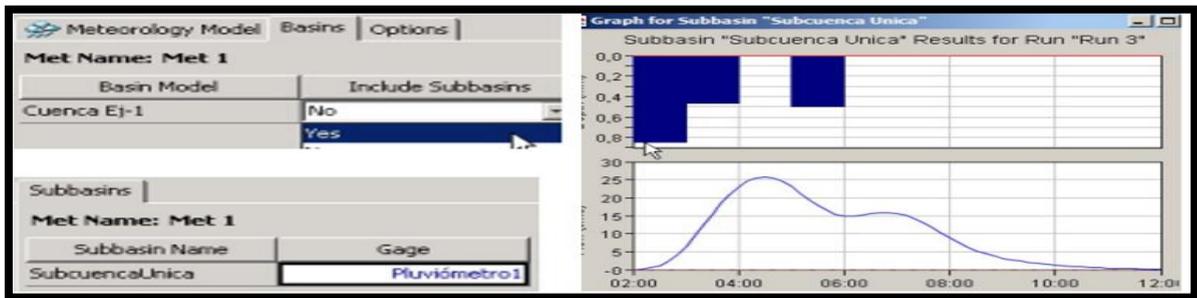
Figura 101: configuración de parámetros y modelos de análisis.



Fuente: elaboración propia.

El análisis de las precipitaciones y del cálculo de los principales procesos hidrológicos se realizan con los datos importados al software desde la base de datos pluviométricos que se analizó previamente con el Hydraccess. En este caso el HEC-HMS es capaz de realizar el análisis de precipitaciones por sus métodos incorporados, la calibración y ajuste del modelo a las condiciones específicas de nuestra zona de estudio. Este modelo permite índices de retorno anuales, mensuales y diarios, lo cual no se puede lograr mediante la metodología RUSLE.

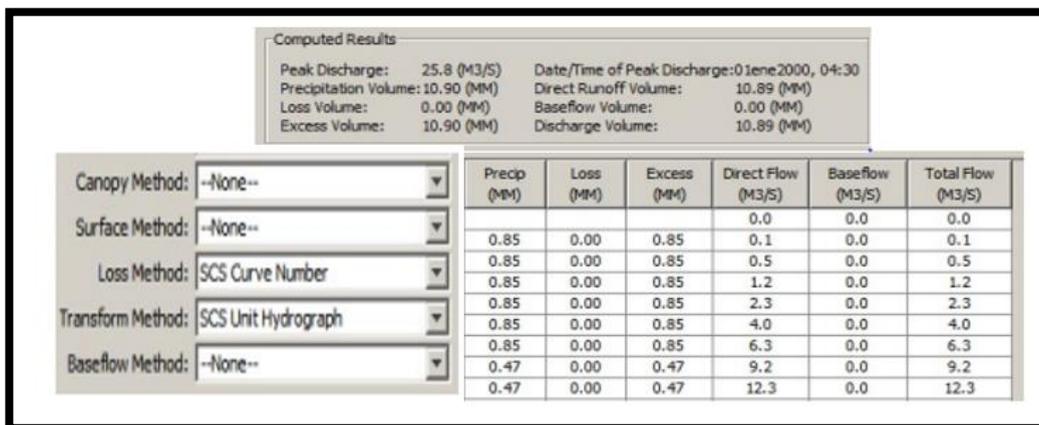
Figura 102: análisis de precipitaciones.



Fuente: elaboración propia

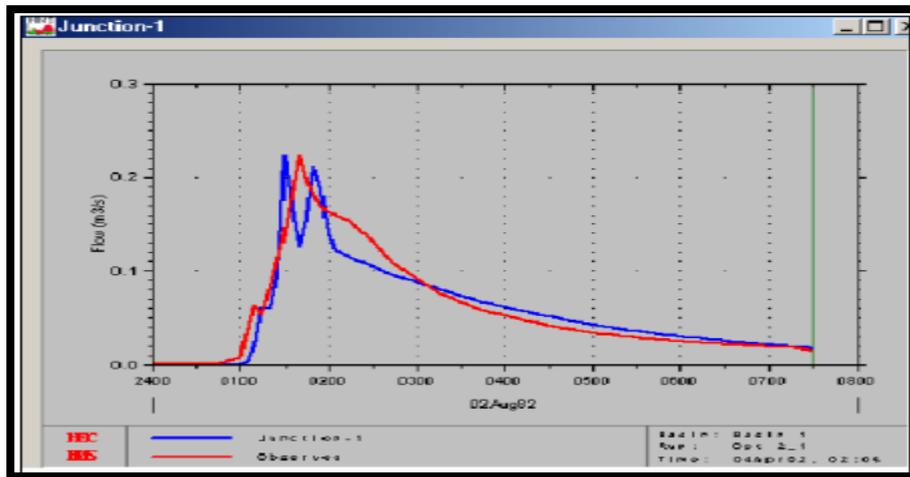
El modelo HEC-HMS requiere ser ajustado y calibrado mediante la comparación con otras fuentes de información previas para alcanzar niveles de precisión y predictibilidad eficientes. Este proceso se realiza mediante la retroalimentación de las simulaciones continuas que puede realizar este software.

Figura 103: resultado de análisis de precipitaciones.



Fuente: elaboración propia.

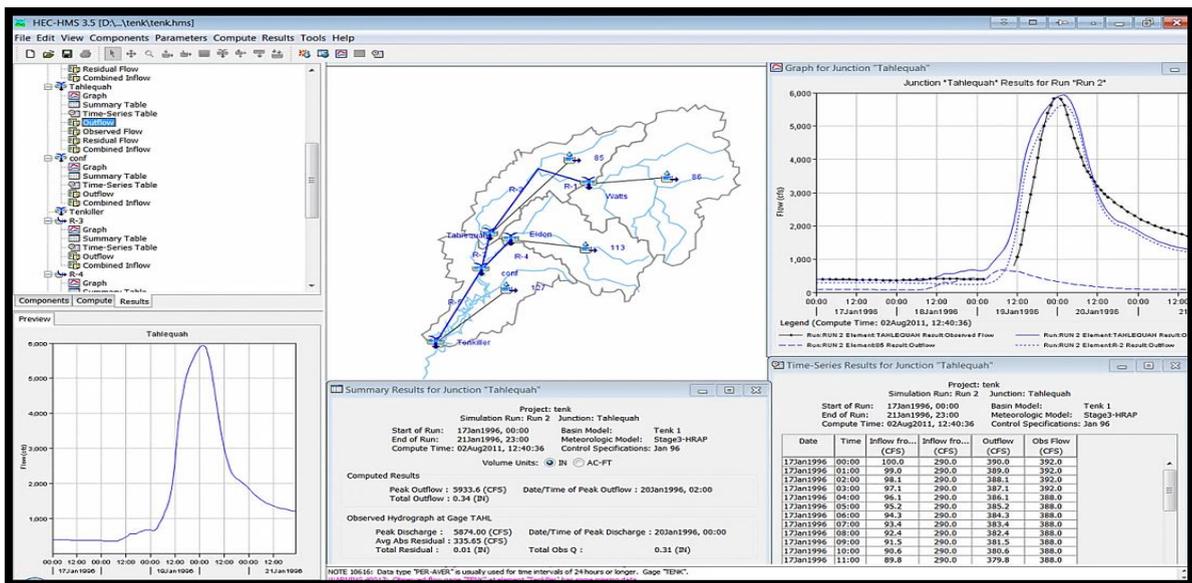
Figura 104: ajuste y calibración de modelo HEC-HMS



Fuente: elaboración propia.

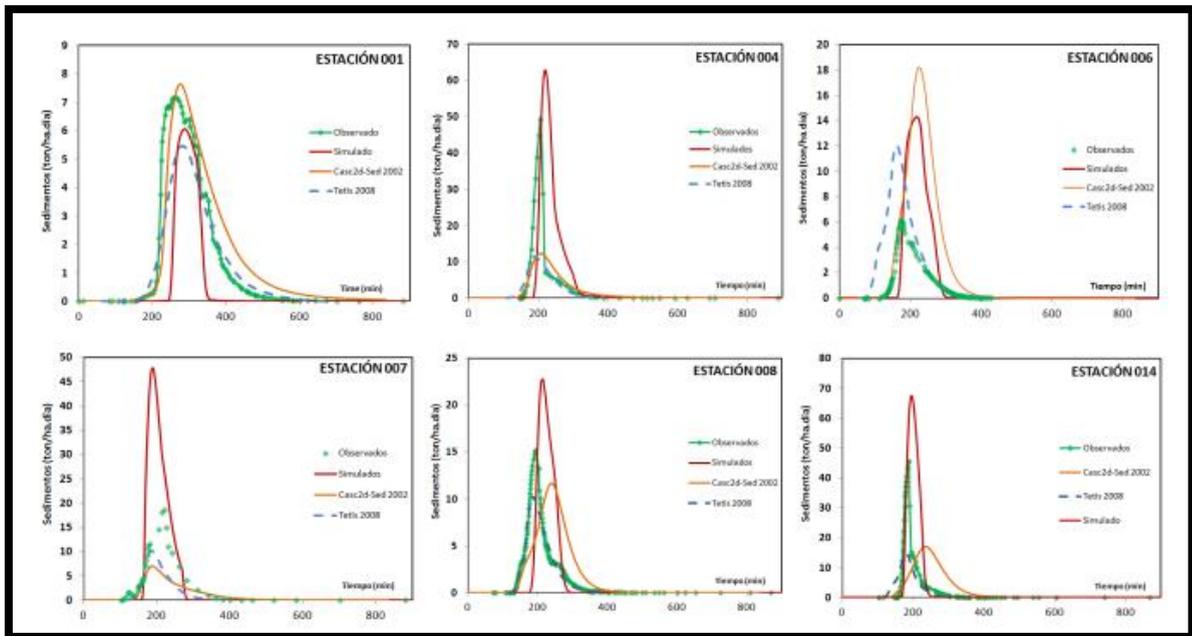
Cálculo de volumen de erosion: para obtener el volumen que es erosionado por las precipitaciones en la subcuenca Ocros se configurara el software con los métodos combinados de pérdida de suelos. Este procedimiento requiere analizar la subcuenca en pequeñas microcuencas que cuentan con una salida de caudal determinada previamente. El HEC-HMS tiene incorporado la metodología de yang para determinar la generación de sedimentos producto del impacto de las gotas de lluvia y la capacidad de infiltración. Se debe configurar y modelar el suelo incorporando los valores de precipitaciones generados inicialmente.

Figura 105: procedimiento para cálculo del volumen de sedimentos.



Fuente: elaboración propia.

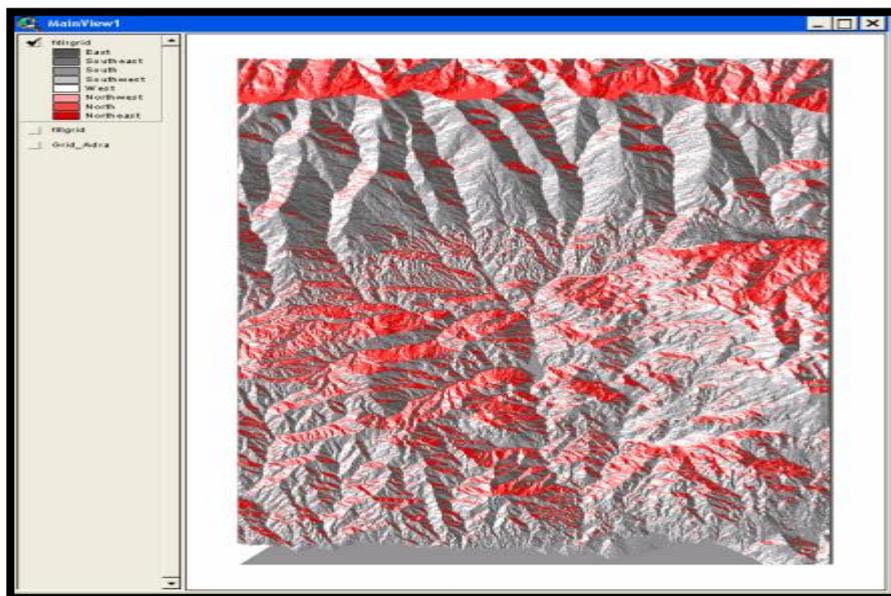
Figura 106: sedigramas elaboradas con HEC-HMS.



Fuente: elaboración propia,

Cálculo de pérdida de suelos: las nuevas variables incorporadas en este modelo combinado de análisis determinan las zonas donde existe una alta intensidad de precipitaciones, una topografía accidentada, una cobertura vegetal rala, un suelo cuyas propiedades de impermeabilidad e infiltración son mínimas frente al impacto de la lluvia.

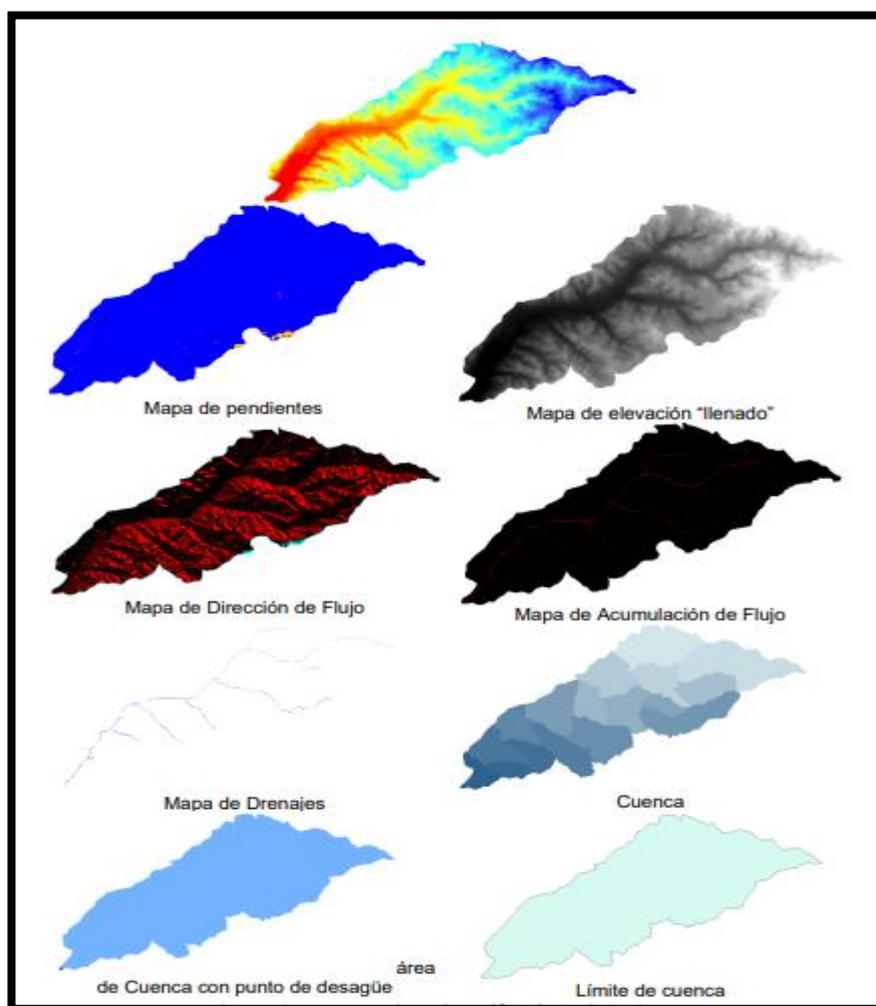
Figura 107: mapa de pérdida de suelos.



Fuente: elaboración propia.

Son las zonas altas las que reciben mayor intensidad de lluvia y con unas pendientes medias muy pronunciadas facilitan la erosión de los suelos, el arrastre de sedimentos, en estas zonas de la subcuenca no hay índices de encharcamiento significativos y sus suelos cuentan con una cobertura vegetal compacta, sin embargo, son las pendientes pronunciadas las que originan un flujo laminar erosivo que desprende las capas superficiales de los suelos. La capacidad de infiltración y evapotranspiración amortiguan el impacto de la erosión hídrica sin embargo el modelo HEC-HMS al ser calibrado mediante el uso de las estaciones meteorológicas demuestran una sobresaturación de los suelos en toda la zona intermedia alta de la subcuenca Ocos. El HEC-HMS permite modelar y simular con mucha precisión distintos eventos meteorológicos para elaborar los mapas de análisis correspondientes.

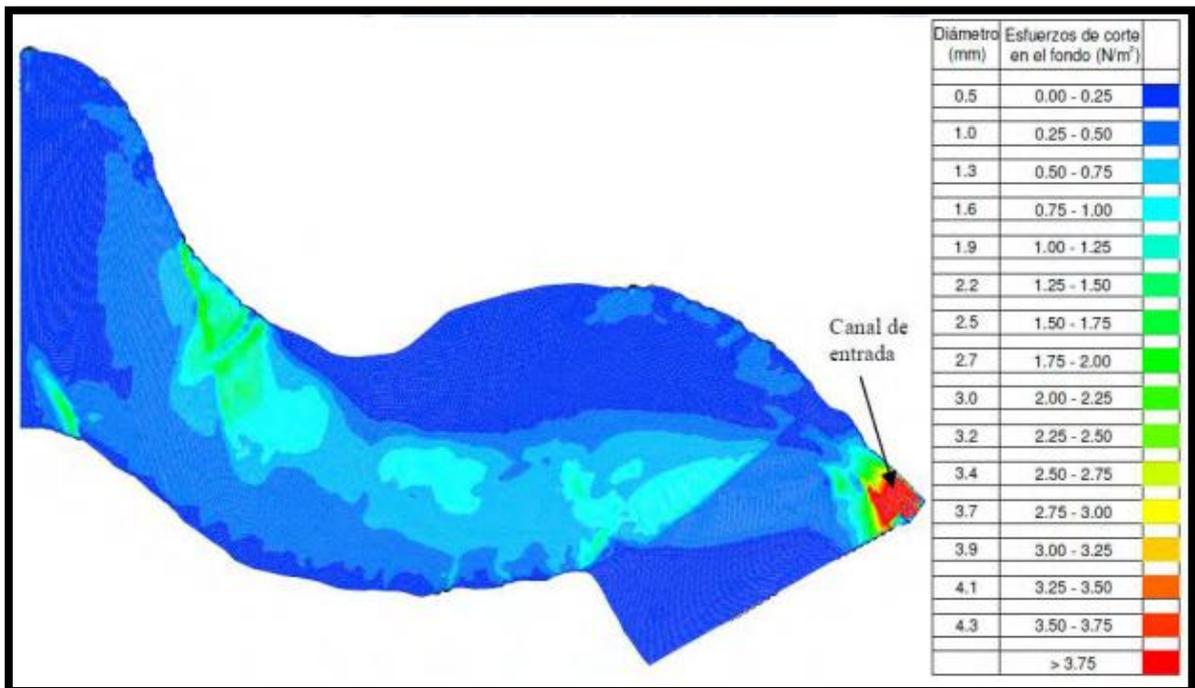
Figura 108: mapas elaborados mediante HEC-HMS



Fuente: elaboración propia.

Cálculo de desplazamiento de sedimentos: el desplazamiento de los suelos erosionados es una variable calculada mediante la combinación de los índices de escorrentía, el coeficiente de escorrentía y el factor topográfico. Para determinar el azolvamiento de los sedimentos en los cauces de los ríos y que porcentaje de estos sedimentos quedan en las laderas de la subcuenca es necesario segmentar la cuenca en microcuencas, de esta manera poder tener secciones transversales y longitudinales que nos permiten observar el desplazamiento de los sedimentos y las zonas de azolvamiento.

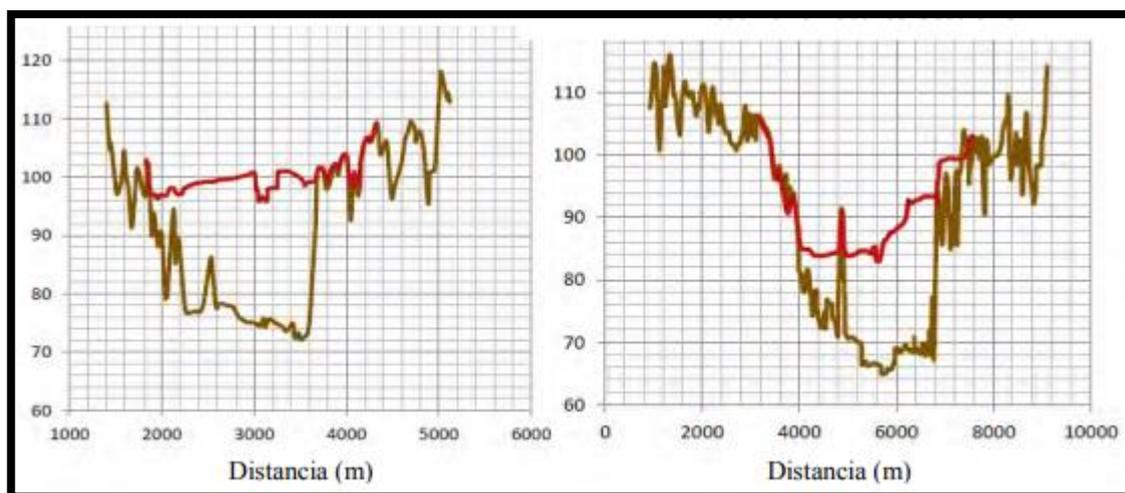
Figura 109: modelamiento del desplazamiento de sedimentos.



Fuente: elaboración propia.

Mediante el HEC-HMS es posible elaborar diagramas para evaluar la generación de sedimentos, la saturación del suelo, el espesor del flujo laminar y el volumen de caudal para causar el traslado de los sedimentos y las posibles distancias que estos pueden transportarse.

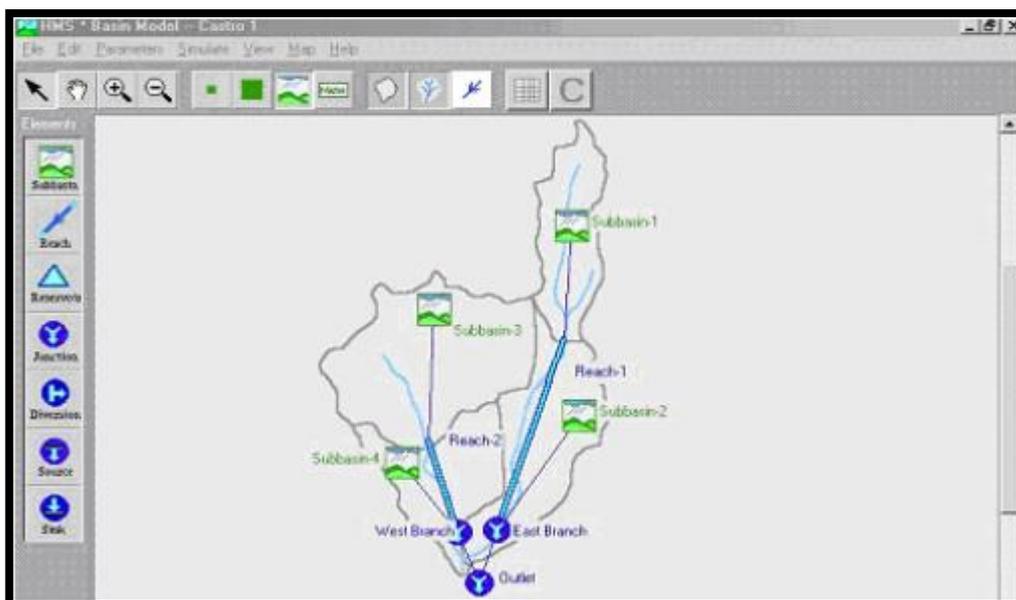
Figura 110: gráficos de transporte de sedimentos.



Fuente: elaboración propia.

Cálculo de flujo de escorrentía: este proceso hidrológico está relacionado con el coeficiente de escorrentía, el cual se obtiene a partir de tablas propuestas por los métodos empíricos. Para determinar el coeficiente de escorrentía realizamos la determinación de la pendiente media por cada zona de la subcuenca, el índice de cobertura vegetal, el área de análisis y la precipitación media de cada sector. Este coeficiente se deberá ingresar manualmente al modelo HEC-HMS para microcuenca. Así mismo deberemos correr la simulación continua para filtrar los valores más consistentes del flujo de escorrentía.

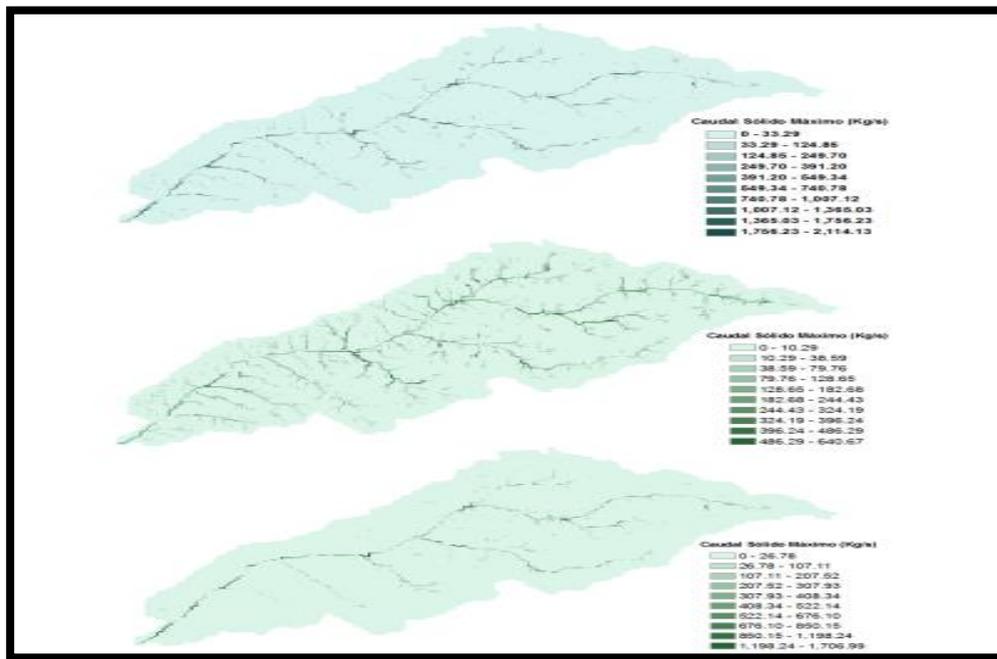
Figura 111: determinación de flujo de escorrentía.



Fuente: elaboración propia.

Realizadas las simulaciones y el ajuste de diseño se genera los flujos de escorrentía con sus respectivos caudales, el flujo laminar superficial. Una posibilidad que nos permite el HEC-HMS es considerar el flujo laminar subsuperficial y la infiltración promedio por cada sector de análisis. Para las simulaciones se utilizó los eventos de máximas precipitaciones y la combinación de coeficientes de escorrentía que nos permitieron estimar posibles escenarios de precipitación. Sin embargo, la falta de información de los cultivos estacionarios y los cultivos extensivos no permiten elaborar un modelo de escorrentía más preciso.

Figura 112: mapas de caudales y escorrentías.



Fuente: elaboración propia.

Figura 113: resultados de escorrentía y desplazamiento de sedimentos



Fuente: elaboración propia.

Método de análisis de datos

Para Berenson y Levine la “Estadística Inferencial son procedimientos estadísticos que sirven para deducir o inferir algo acerca de un conjunto de datos numéricos (población), seleccionando un grupo menor de ellos...” En razón de la definición señalada el presente trabajo de investigación empleara el análisis de datos basado en **La estadística inferencial** puesto que se extraerán conclusiones sobre la población. Para el análisis de datos se realiza a los datos de precipitación un análisis de consistencia y de saltos, se analiza los factores de análisis de los factores USLE se empleó los sistemas de información geográfica, a través del software ArcGIS, y el satélite Landsat, el cual nos brindó la imagen satelital de la Subcuenca Ocos-Ancash del año 2022.

3.6 Aspectos éticos

El presente trabajo de investigación se realizó respetando los derechos de autor conforme a los estándares académicos, comprometidos con la objetividad y honestidad de los resultados obtenidos a través de métodos apropiados al objeto de estudio, por ello se cumplirá con:

- La veracidad de los datos aportados a la investigación y el respeto por los derechos de autor.
- A través de la revisión Turnitin se evitará el plagio de contenido académico manteniendo un porcentaje de similitud menor del 20 %.
Anexo 01 y 02.
- La estructura de la presente investigación está a base de la “Guía de Elaboración del Trabajo de Investigación y Tesis para la obtención de Grados Académicos y Títulos Profesionales”.

IV. Resultados

En este capítulo se presenta los resultados obtenidos en este estudio realizado a la subcuenca del río Chonta. Mediante instrumentos y técnicas apropiadas a nuestro estudio se recopiló toda la información necesaria. Los resultados por cada objetivo específico planteado se muestran a través de tablas y gráficos.

Nombre del proyecto

Índice de erosión hídrica calculado con la ecuación RUSLE y el modelo HEC-HMS en la subcuenca del río Chonta, Ancash- 2023

Ubicación del proyecto

la subcuenca del río Chonta se ubica en la provincia de Ocros, departamento de Ancash, en las siguientes coordenadas; Latitud: -10.4558 y Longitud: -77.433. localiza en una elevación media de 3.230 msnm., en el sector Callejón de Huaylas, cordillera Nor-Oriental y cuyas coordenadas UTM son 10°24'00" Latitud Sur, 77°23'46" Longitud Oeste.

Figura 114: ubicación provincia de Ocros.



Fuente: Instituto Geográfico del Perú.

4.1 Parámetros de erosión

Volumen de erosión

Objetivo 1; calcular como la ecuación de RUSLE y el modelo HEC-HMS influyen en el volumen de erosión hídrica en la subcuenca Ocros, Ancash - 2023.

Tabla 24: volumen de erosión según método RUSLE

Indicador Volumen de erosión (mes mas lluvioso)				
Metodo RUSLE				
Ubicación	Factor K	Elevacion (msnm)	Area (Km2)	V. de erosion (Tn* Hec)
Zona cuenca alta	0.202	5069.3 - 3780	227.02	0.874
Zona cuenca media alta	0.200	3780 - 2680	122.72	6.023
Zona cuenca media baja	0.199	2680 - 1580	91.38	1.203
Zona cuenca baja	0.198	1580 - 700	31.78	0.234

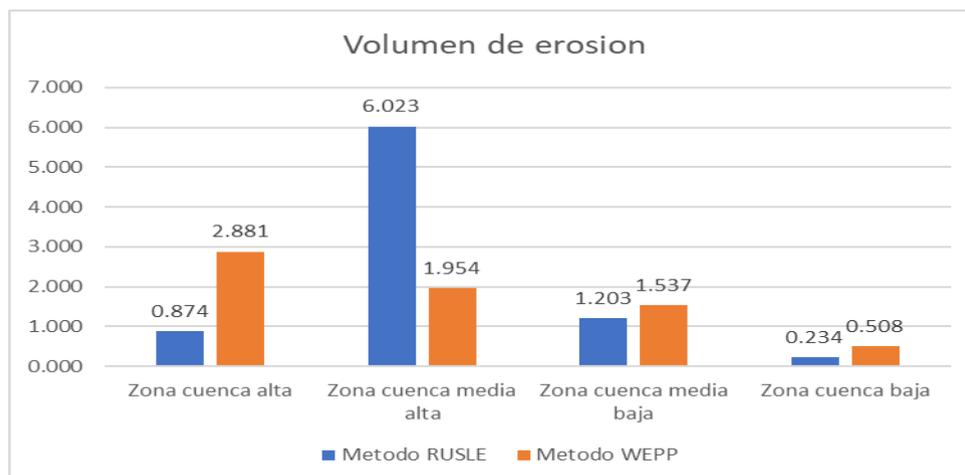
Fuente: elaboración propia.

Tabla 25: volumen de erosión según modelo HEC-HMS

Indicador Volumen de erosión (mes mas lluvioso)				
Metodo HEC-HMS				
Ubicación	Factor K	Elevacion (msnm)	Area (Km2)	V. de erosion (Tn* Hec)
Zona cuenca alta	0.0266	4574 - 3921	238.9	2.881
Zona cuenca media alta	0.0263	3921 - 2847	132.64	1.954
Zona cuenca media baja	0.0262	284 - 1498	75.5	1.537
Zona cuenca baja	0.0261	1498 - 751	25.86	0.508

Fuente: elaboración propia.

Gráfico 11: volumen de erosión.



Fuente: elaboración propia.

Interpretación: Grafico 11

En base a la comparación de las tablas de resultados 24 y 25 y el grafico 11 se observa una diferencia entre los resultados obtenidos por ambos métodos. En la zona de la cuenca alta el método RUSLE obtuvo una diferencia del 2.01 Tn/ha más que los resultados obtenidos por el modelo HEC-HMS. la Cuenca media alta tiene 4.07 Tn/ha de diferencia entre resultados. En la cuenca media baja el modelo HEC-HMS obtuvo 0.33 Tn/ha y en la cuenca baja un 0.27 Tn/ha más que el método RUSLE. Así mismo en la comparación general de resultados de este indicador se puede evidenciar que es en las zonas altas donde se presenta una mayor diferencia entre los resultados generados con ambos métodos. Esta diferencia resulta ser significativa.

Perdida de suelos

Objetivo 2; Evaluar de qué manera la ecuación de RUSLE y el modelo HEC-HMS influyen en la perdida de suelos en la subcuenca Ocros, Ancash- 2023.

Tabla 26: perdida de suelos según modelo RUSLE.

Indicador perdida de suelos anual				
Metodo RUSLE				
Ubicación	Factor R (Mj*mm/Ha*h*añ o)	Elevacion (msnm)	Area (Km2)	Perdida de suelos (Ton/ha*año)
Zona cuenca alta	589.685	5069.3 - 3780	47.73	10.49
Zona cuenca media alta	452.141	3780 - 2680	328.727	72.27
Zona cuenca media baja	312.297	2680 - 1580	65.617	14.43
Zona cuenca baja	219.677	1580 - 700	12.793	2.81

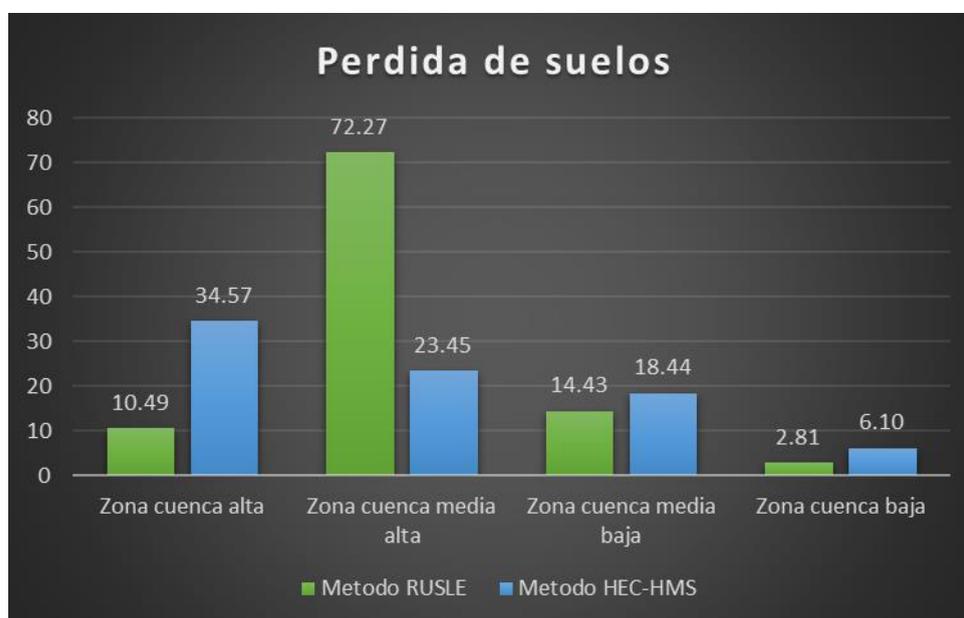
Fuente: elaboración propia.

Tabla 27: perdida de suelos según modelo HEC-HMS

Indicador perdida de suelos anual				
Metodo HEC-HMS				
Ubicación	Factor R (Mj*mm/Ha*h*añ o)	Elevacion (msnm)	Area (Km2)	Perdida de suelos (Ton/ha*año)
Zona cuenca alta	485.791	4574 - 3921	143.3	34.57
Zona cuenca media alta	396.147	3921 - 2847	249.04	23.45
Zona cuenca media baja	318.258	284 - 1498	52.9	18.44
Zona cuenca baja	87.51	1498 - 751	9.2	6.10

Fuente: elaboración propia.

Gráfico 12: pérdida de suelos.



Fuente: elaboración propia.

Interpretación: Gráfico 12

En base a la comparación de las tablas de resultados 26 y 27 y el gráfico 12 se observa una diferencia entre los resultados calculados por ambos métodos. En la zona de la cuenca alta el modelo HEC-HMS obtuvo una diferencia del 24 Tn/ha*año más que el método RUSLE. En la Cuenca media alta el método RUSLE obtuvo 49 Tn/ha*año más que el modelo HEC-HMS. En la cuenca media baja y la cuenca baja el modelo HEC-HMS calculó 4 Tn/ha*año más que la metodología RUSLE. Así mismo en la comparación general de resultados de este indicador se puede evidenciar que existe una diferencia muy grande entre los resultados obtenidos para el sector de subcuenca media alta, lo cual resulta ser una diferencia que requiere la reanálisis de variables.

4.2 Parámetros Geomorfológicos

Desplazamiento de suelos

Objetivo 3; Determinar como la ecuación de RUSLE y el modelo HEC-HMS influyen en el desplazamiento de suelos en la subcuenca Ocros, Ancash- 2023.

Tabla 28: desplazamiento de suelos según modelo RUSLE.

Indicador desplazamiento de suelos				
Metodo RUSLE				
Ubicación	Factor LS (adimensional)	Elevacion	Area	Desplazamiento (Km)
Zona cuenca alta	13.744	5069.3 - 3780	227.02	22.5
Zona cuenca media alta	10.854	3780 - 2680	122.72	49.1
Zona cuenca media baja	5.967	2680 - 1580	91.38	57.3
Zona cuenca baja	0.085	1580 - 700	31.78	7.1

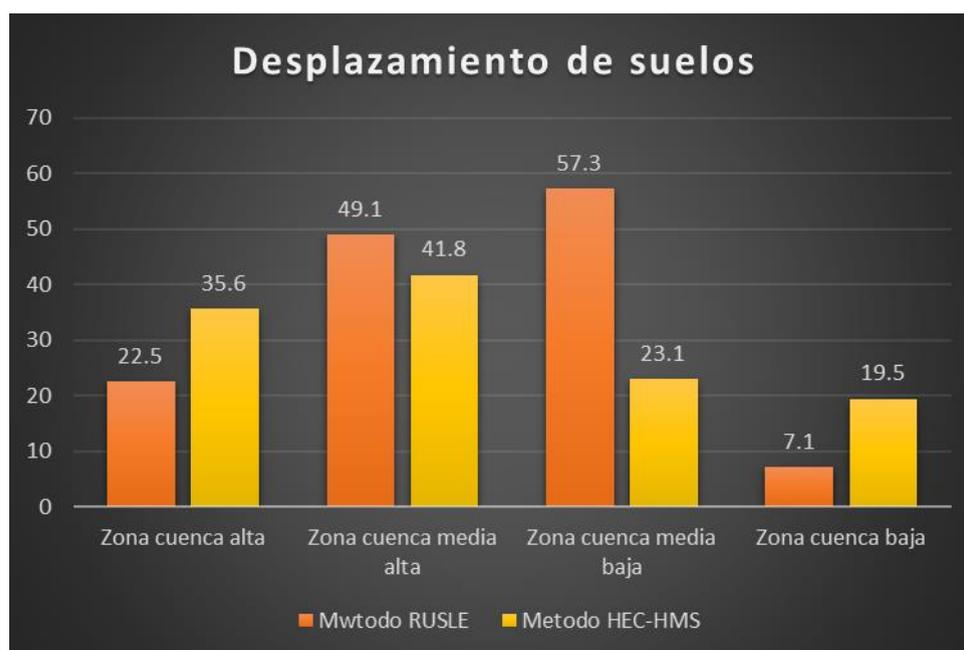
Fuente: elaboración propia.

Tabla 29: desplazamiento de suelos según modelo HEC-HMS.

Indicador desplazamiento de suelos				
Metodo HEC-HMS				
Ubicación	Factor LS (adimensional)	Elevacion	Area	Desplazamiento (Km)
Zona cuenca alta	9.471	4574 - 3921	238.9	35.6
Zona cuenca media alta	7.754	3921 - 2847	132.64	41.8
Zona cuenca media baja	3.548	284 - 1498	75.5	23.1
Zona cuenca baja	0.049	1498 - 751	25.86	19.5

Fuente: elaboración propia.

Gráfico 13: desplazamiento de suelos



Fuente: elaboración propia.

Interpretación: Grafico 13

En base a la comparación de las tablas de resultados 28 y 29 y el grafico 13 se observa una diferencia entre los resultados calculados por ambos métodos. En la zona de la cuenca alta el modelo HEC-HMS obtuvo un desplazamiento de 13 Km/año más que el método RUSLE. En la Cuenca media alta el método RUSLE genero un desplazamiento 8 Km/año más que el modelo HEC-HMS. Es en la cuenca media baja donde se muestra una diferencia significativa de 34 km/año más entre ambos métodos, siendo RUSLE el mayor. En la cuenca baja el modelo HEC-HMS tuvo 12 km/año más que el método RUSLE. Así mismo en la comparación general de resultados de este indicador se determinó que es en la zona intermedia de la subcuenca donde se presenta la mayor diferencia entre ambos métodos.

Flujo de escorrentía

Objetivo 4; calcular de qué manera la ecuación de RUSLE y el modelo HEC-HMS influyen en el flujo de escorrentías en la subcuenca Ocos, Ancash- 2023.

Tabla 30: flujo de escorrentía según modelo RUSLE.

Indicador flujo de escorrentia				
Metodo RUSLE				
Ubicación	Factor LS (adimensional)	Elevacion (msnm)	Area (Km2)	Escorrentia L/T (mm,m/dia)
Zona cuenca alta	13.744	5069.3 - 3780	227.02	26
Zona cuenca media alta	10.854	3780 - 2680	122.72	23
Zona cuenca media baja	5.967	2680 - 1580	91.38	18
Zona cuenca baja	0.085	1580 - 700	31.78	13

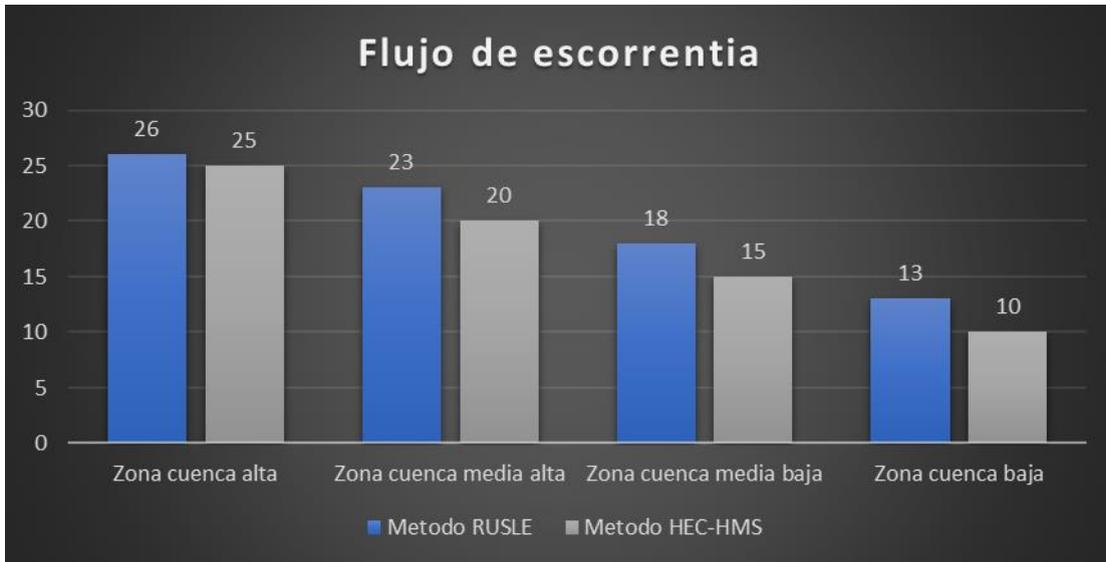
Fuente: elaboración propia.

Tabla 31: flujo de escorrentía según modelo HEC-HMS.

Indicador flujo de escorrentia				
Metodo HEC-HMS				
Ubicación	Factor LS (adimensional)	Elevacion (msnm)	Area (Km2)	Escorrentia L/T (mm,m/dia)
Zona cuenca alta	9.471	4574 - 3921	238.9	25
Zona cuenca media alta	7.754	3921 - 2847	132.64	20
Zona cuenca media baja	3.548	284 - 1498	75.5	15
Zona cuenca baja	0.049	1498 - 751	25.86	10

Fuente: elaboración propia.

Grafico 14: flujo de escorrentía.



Fuente: elaboración propia.

Interpretación: Grafico 14

En base a la comparación de las tablas de resultados 30 y 31 y el grafico 14 se observa una diferencia entre los resultados calculados por ambos métodos. En la zona de la cuenca alta el método RUSLE obtuvo una diferencia del 1 mm*m/mes más que el modelo HEC-HMS. En la Cuenca media alta, media baja y cuenca baja, el método RUSLE obtuvo una diferencia constante de 3 mm*m/mes más que el software HEC-HMS. Así mismo en la comparación general de resultados de este indicador se puede evidenciar que el promedio de resultados entre ambos métodos no presenta diferencias significativas.

V. DISCUSION

En base a los resultados calculados y analizados mediante las tablas y gráficos presentados en el capítulo IV se realizó la discusión con los antecedentes teóricos y metodológicos planteados por autores, como fundamento de este estudio.

Indicador 1: volumen de erosion

Según el autor Jorge Pérez Bidagain et al (2015), en su tesis presenta un estudio que compara el alcance predictivo del modelo HEC-HMS con respecto a los métodos USLE y RUSLE; en esta investigación el modelo HEC-HMS obtuvo un parámetro de erosividad $R = 0.97$ y el método USLE un $R = 0.98$ demostrando la poca significatividad de esta diferencia. Este estudio genero volúmenes de erosion similares entre ambos métodos sin embargo en comparación de las diferencias de valores obtenidas en este estudio se determinó que no hay similitud con el antecedente. Esta condición es debido al ajuste del método HEC-HMS con una base de datos de campo elaborados en parcelas de 100m². También debemos señalar que la versión del software HEC-HMS utilizado por el antecedente fue 3.5 (una versión inicial) mientras que la versión usada para este estudio fue 4.10, la más avanzada. La falta del ajuste y calibración del HEC-HMS representa una diferencia sustancial en su aplicación.

Indicador 2: Perdida de suelo

Según el autor José Manuel Ramírez León, en su tesis presenta un estudio que compara el alcance predictivo del método Kothyari con respecto al método RUSLE en la predicción de pérdida de suelos. Los resultados del antecedente muestran que el modelo RUSLE calculo 2.48, 2.35 y 0.35 tn/ha de pérdida de suelos para periodos anuales, mensuales y diarios respectivamente y 3.25, 2.35 0.35 tn/ha obtenidos mediante el método Kothyari, esto evidencia una diferencia poco significativa entre ambos métodos. En este estudio se analizó y comparo los resultados, obteniéndose una diferencia e para zonas de subcuenca alta, intermedia alta, intermedia baja y baja de 2.01, 4.07, 0.33 y 0.27 Tn/ha respectivamente. La diferencia entre métodos demuestra una mayor aproximación entre el método Kothyari y RUSLE que entre el modelo HEC-HMS y RUSLE.

Indicador 3: Desplazamiento de sedimentos

Según el autor Moreno Roldan (2017), en su tesis presenta un estudio que compara el método USLE tradicional y la aplicación de USLE mediante herramientas SIG. En su investigación se demostró una diferencia de 15% más de desplazamiento por parte del cálculo SIG para zonas altas e intermedias mientras que los valores para zonas bajas fue de menos del 5%, con esto se demuestra la eficiencia de la herramienta SIG. En la tesis presente comparo los resultados obtenidos por RUSLE y HEC-HMS, obteniéndose una diferencia de resultados para zonas de subcuenca alta, intermedia alta, intermedia baja y baja, 13, 8, 34 y 12 km/año respectivamente. Nuestra investigación no ha obtenido rangos de diferencias similares a los presentados en el antecedente.

Los rangos de diferencia entre los resultados del antecedente y los de este estudio son similares. En ambos estudios la calibración y ajuste de parámetros de cálculo del modelo HEC-HMS demuestran el alcance de precisión que posee este método combinado.

Indicador 4: Flujo de escorrentía.

Según el autor Roxana Guadalupe Ramírez et al, (2016), en su tesis presenta un estudio que compara la capacidad de análisis hidrológico del modelo HEC-HMS con respecto al cálculo de erosión hídrica mediante la ecuación MUSLE; en esta investigación se presentaron dos grupos de valores de volumen de escorrentía, grupo A, 2.4, 3.48, 4.29 y 5.03 mm/hr y el grupo B, 2.3, 3.47, 4.27 y 5.01 mm/hr con los cuales se calculó valores de volumen de erosión. Esto demuestra que el flujo de escorrentía influye significativamente en la determinación de la erosión hídrica. En investigación presente se obtuvieron resultados, como lo muestran las tablas 57 y 58 que muestran valores diferentes entre el método RUSLE y el HEC-HMS. Los rangos de diferencia entre los resultados del antecedente y los de este estudio son semejantes.

VI CONCLUSIONES

- Según el cálculo realizado y los resultados se muestra como influyen ambos métodos en el volumen de erosión obtenidos. La zona de la cuenca intermedia alta presenta la mayor diferencia, 4.07 Tn/ha obtenido por el método RUSLE. En las zonas alta, intermedia baja y cuenca baja se obtuvo 2.01, 0.33 y 0.27 Tn/ha por el modelo HEC-HMS. Estos resultados se explican por los valores de erosividad con los cuales trabajo cada modelo, estos valores son presentados en las tablas 51 y 52. Así mismo, en el gráfico 11 se muestran la comparación de los volúmenes de erosión calculados por cada método.
- De acuerdo a la investigación y los resultados se evaluó la manera en que cada método influye en la pérdida de suelos. Los resultados presentados en el gráfico 12 indican que para la zona intermedia alta de la subcuenca el método RUSLE obtuvo 49 Tn/ha*año más que lo calculado por el HEC-HMS. Sin embargo, en la zona alta, intermedia baja y baja el HEC-HMS obtuvo 24, 4 y 4 Tn/ha*año más respectivamente. Según las tablas de resultados 53 y 54 se demostró que el valor de erodabilidad fue determinante en la diferencia de resultados obtenidos.
- De los resultados obtenidos se determinó de qué manera influyen ambos métodos en el cálculo del desplazamiento de suelos. En la zona de cuenca alta y baja el modelo HEC-HMS obtuvo 13 y 12 km más de desplazamiento que RUSLE., mientras que para la zona de cuenca intermedia alta y baja el método RUSLE obtuvo un valor mayor en 8 y 34 km que el modelo HEC-HMS tal como se muestra en el gráfico comparativo 13. En base a las tablas de resultados 55 y 56 se observó que el parámetro LS fue la variable que determinó valores de desplazamiento distintos.
- En esta investigación se calculó la manera como influyeron ambos modelos en el flujo de escorrentía. Según el gráfico 14 de comparación de resultados se mostró que solo hay una diferencia de 1mm/t entre ambos métodos para zona de

la cuenca alta, mientras que en las zonas intermedia alta, baja y cuenca baja se presentó una diferencia de 3 mm/t entre ambos modelos. Así mismo en las 57 y 58 se muestra en este caso que la diferencia del valor del parámetro topográfico no causó una diferencia significativa en el flujo de esorrentía.

- Según la investigación y sus resultados se determinó la manera en que influyen los métodos en el valor de la erosión hídrica. Dado que los resultados presentados en las tablas de valores de cada indicador indican una diferencia numérica considerable en los parámetros de cálculo se determinó que ambos métodos influyen significativamente en la erosión hídrica de la subcuenca Ocros, Ancash - 2023.

VII. RECOMENDACIONES.

Se recomienda, contar con mayor número de estaciones meteorológicas dentro y cerca de la cuenca del río Ocros que registren los datos de precipitación a nivel diario para los estudios posteriores, ya que el índice de erosión hídrica esta directamente relacionado con la erosividad específica de cada región.

Se recomienda que entidades nacionales como los municipios distritales y provinciales realicen convenios con las universidades para desarrollar registros por periodos del uso de suelos y su erodabilidad específica de cada región ya que de esta manera se puede calibrar las fórmulas empíricas mediante el modelo HEC-HMS a nuestra realidad.

Se recomienda a los profesionales e investigadores emplear el sistema de información geográfica SIG, imágenes satelitales y datos de teledetección en sus estudios ya que estos datos permiten abarcar áreas de forma global y específica con niveles de eficiencia y predicción muy altos, comparables con los registros experimentales.

Se recomienda a las instituciones públicas y privadas (universidades) promover los estudios específicos de suelos y precipitación mediante la parcelación con el fin de obtener datos que permitirán ajustar y calibrar los modelos físicos de cálculo de erosión de la subcuenca Ocros

Esta investigación determina de qué manera influyen los métodos de cálculo de erosión hídrica, para recomendar la aplicación del método que sea más adecuado a nuestra zona de estudio, señalando las ventajas del método HEC-HMS sobre el método RUSLE.

VIII REFERENCIAS

DE ALBA, S., ALCÁZAR, M., CERMEÑO, F., & BARBERO, F. (22 de Setiembre de 2011). *Agric. Ecológica*. Instituto de Geociencias, Geodinámica. Recuperado el octubre de 2020, de Erosión y Manejo del suelo. Importancia del laboreo ante los procesos erosivos naturales y antrópicos.

https://digital.csic.es/bitstream/10261/60833/1/Capitulo13_38.pdf

ALEWELL, C.; BORRELLI, P.; MEUSBURGER, K.; PANAGOS, P. Using the USLE: Chances, challenges and limitations of soil erosion modelling. *International Soil and Water Conservation Research*, v. 7, n. 3, p. 203-225, 2019. <https://doi.org/10.1016/j.iswcr.2019.05.004>

BIENES, R., MARQUÉS, M., & RUIZ, M. (2012). Cultivos Herbáceos, Viñedos y Olivares. El manejo tradicional del suelo y sus consecuencias en la erosión hídrica. *Cuadernos de Investigación Geográfica*, 38(1).

BIRCHER, P.; LINIGER, H.P.; PRASUHN, V. Comparing different multiple flow algorithms to calculate RUSLE factors of slope length (L) and slope steepness (S) in Switzerland. *Geomorphology*, v.346, n. 106850, 2019. <https://doi.org/10.1016/j.geomorph.2019.106850>

BENAVIDEZ, R., JACKSON, B., MAXWELL, D. & NORTON, K. (2018) A review of the (Revised) Universal Soil Loss Equation ((R) USLE): With a view to increasing its global applicability and improving soil loss estimates. *Hydrology and Earth System Sciences*, 22(11), 6059-6086.

BISPO, D. F. A.; SILVA, M. L. N.; MARQUES, J. J. G. S. M.; BECHMANN, M.; BATISTA, P. V. G.; CURI, N. Phosphorus transfer at a small catchment in southeastern Brazil: distributed modelling in different land use scenarios. *Ciência e Agrotecnologia*, v. 41, n. 5, p. 565-579, 2017.

<https://doi.org/10.1590/1413-70542017415012217>

BOUCHOMS, S., WANG, Z., VANACKER, V. & OOST, K. V. (2019). Evaluating the effects of soil erosion and productivity decline on soil carbon dynamics using a model-based approach. *Soil*, 5(2), 367-382.

BUENO, J.M.M., DALMOLIN, R.S.D., MIGUEL, P. E HORST, T.Z., Erosão em áreas de encosta com solos frágeis e sua relação com a cobertura do solo. *Revista Scientia Agraria*, 19(1), pp. 102-112, 2018. DOI: 10.5380/rsa.v19i1.53738

CARVAJAL-AGUIRRE, LUISA.; MONTOYA-GOMEZ, M. Modelación espacial de los factores de erosión en la cuenca del río El Hato, a partir del uso de sistemas de información geográfica [Tesis Ingeniería informática]. Medellín (Colombia): Universidad de Antioquia, Facultad de ingeniería Escuela Ambiental, 2020, 45 p. http://repositorio.udea.edu.co/bitstream/10495/15602/4/CarvajalLuisa_2020_ModelacionEspacialErosion.pdf.

CHANCAY, J. E., LUCAS-SOLIS, O., ALVEAR-S, D., MARTÍNEZ-R, D., MENA, G., ZURITA, B., CARRASCO-S, L., CARRILLO, H., SEGARRA, V., NARANJO, E., CORONEL, B., ESPINOSA, R., CABRERA, M., CAPPARELLI, M. V. & CELI, J.E. (2021) Integrating multiple lines of evidence to assess freshwater ecosystem health in a tropical river basin. *Environmental Pollution*, 289 (July), 117796. <https://doi.org/10.1016/j.envpol.2021.117796>

CONCEPCIÓN RAMOS, M., LIZAGA, I., GASPAR, L., QUIJANO, L. & NAVAS, A. (2018). Soil and nutrient losses by hydric erosion under different land uses in a mountain catchment in the Ebro Basin (NE Spain). EGU General Assembly Conference Abstracts. 4 al 13 de abril. Viena, Austria

COCUYAME R., R.A. & SALAZAR Q., D. (2015). Clasificación y zonificación de la susceptibilidad a erosión hídrica en la cuenca del río guabas con apoyo de herramientas geomáticas. (tesis de pregrado) Universidad del Valle, Facultad de Ingeniería, Escuela de Ingeniería Civil y Geomática.

DRAGIČEVIĆ, N.; KARLEUŠA, B.; OŽANIĆ, N. Erosion Potential Method (Gavrilović Method) Sensitivity Analysis. *Soil Water Research*, v. 12, n. 1, p. 51-59, 2017. <https://doi.org/10.17221/27/2016-SWR>

EBRAHIMZADEH, S.; MOTAGH, M.; MAHBOUB, V.; HARIJANI, F. M. An improved RUSLE/SDR model for the evaluation of soil erosion. *Environmental Earth Sciences*, v. 77, n. 12, p. 454, 2018.

<https://doi.org/10.1007/s12665-018-7635-8>

ECHAVARRÍA-CHÁIREZ, F.G.; MEDINA-GARCÍA, G.; RUIZ-CORRAL, J. A. Efecto en la erosión hídrica del suelo en pastizales y otros tipos de vegetación por cambios en el patrón de lluvias por el calentamiento global en Zacatecas. *Revista Mexicana de Ciencias Pecuarias*, v. 11, 2020, p. 63-74.

<https://doi.org/10.22319/rmcp.v11s2.4694>

ESCOBAR QUINTERO, J. N. (2021) Análisis comparativo entre rusle y el análisis multicriterio, para obtener la erosión hídrica en la microcuenca del río Amarillo, El Oro Ecuador [Bachelor's tesis]. Facultad de Ciencias Naturales. Universidad de Guayaquil.

EFTHIMIOU, N.; LYKOUDI, E.; KARAVITIS, C. Comparative analysis of sediment yield estimations using different empirical soil erosion models. *Hydrological Sciences Journal*, v. 62, n. 16, p. 2674-2694, 2017.

<https://doi.org/10.1080/02626667.2017.1404068>

EFTHIMIOU, N.; LYKOUDI, E.; PANAGOULIA, D.; KARAVITIS, C. Assessment of soil susceptibility to erosion using the EPM and RUSLE models: the case of Venetikos River Catchment. *Global NEST Journal*, v. 18, n. 1, p. 164-179, 2016. <https://doi.org/10.30955/gnj.001847>

GANASRI, B. P.; RAMESH, H. Assessment of soil erosion by RUSLE model using remote sensing and GIS - A case study of Nethravathi Basin. *Geoscience Frontiers*, v. 7, n. 6, p. 953-961, 2016.

<https://doi.org/10.1016/j.gsf.2015.10.007>

GIRMAY, G., MOGES, A. & MULUNEH, A. (2020) Estimation of soil loss rate using the USLE model for Agewmariyam Watershed, northern Ethiopia. *Agriculture & Food Security*, 9(1), 1-12.

GVOZDENOVICH, J., PÉREZ BIDEGAIN, M., NOVELLI, L., & BARBAGELATA, P. (2017). ¿Puede HEC-HMS mejorar la predicción de la erosión de suelos respecto a USLE? *Ciencia del suelo*, 35(2), 259-272

HILL, M., CLÉRICI, C., MANCASSOLA, V., & SÁNCHEZ, G. (2015). Estimación de pérdidas de suelo por erosión hídrica en tres diferentes sistemas de manejo hortícola del sur de Uruguay. *Agrociencia Uruguay*, 19(1), 94-101. Obtenido de http://www.scielo.edu.uy/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S230115482015000100011&lng=es&tlng=es

HILI, A. (2018): Editions Universitaires Européennes. "Modélisation de l'érosion hydrique et des mouvements de terrain. Effets sur l'autoroute Fès-Taza (A2)". 169 pages.

HILI, A. EL KHALKI, Y. GARTET, J. (2017) : Espace Géographique et Société Marocaine. "Estimation qualitative de l'érosion hydrique dans le bassin versant de l'Oued Amlil (TazaMaroc) par la combinaison de l'outil SIG et de l'approche PAP/CAR". N°.18, pp. 133-144.

HILI, A. EL KHALKI, Y. GARTET, J. (2016): Arabian Journal of Earth Sciences. "Application des directives PAP/CAR et du SIG pour la cartographie des formes d'érosion et des mouvements de terrain dans le bassin versant de l'Oued Sahb Laghrik (Nord-Ouest de Taza). Approche cartographique". Vol. 3 - Issue 2, pp. 17-25.

INDECI, & UNICA. (2002). *Mapa de peligros, plan de uso del suelo y propuesta de medidas de mitigación de los efectos producidos por los desastres naturales de las ciudades de la provincia de Cañete*. Obtenido de http://bvpad.indeci.gob.pe/doc/estudios_CS/Region_Lima/canete/canete_2002.pdf

INRENA. (2001). *Evaluación y Ordenamiento de los Recursos Hídricos de la Cuenca del Río Cañete*. Lima-Perú: ANA.

KHAIRUNNISA, F., TAMBUNAN, M. P. & MARKO, K. (2020) Estimation of soil erosion by USLE model using GIS technique (A case study of upper Citarum Watershed). IOP Conference Series: Earth and Environmental Science, 561 (1), 012038. IOP Publishing - August.

KINNELL, P.I.A.; YU, B. CLIGEN as a weather generator for predicting rainfall erosion using USLE based modelling systems. CATENA, v. 194, 2020, e 104745.

<https://doi.org/10.1016/j.catena.2020.104745>

LEE, S.; CHU, M. L.; GUZMAN, J.A.; BOTERO-ACOSTA, A. A comprehensive modeling framework to evaluate soil erosion by water and tillage. Journal of Environmental Management, v. 279, 2021, e 111631.

<https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2020.111631>

LOREDO, C., BELTRÁN, S., MORENO, F., & CASIANO, M. (2007). Riesgo a la erosión hídrica y proyección de acciones de manejo y conservación del suelo en 32 microcuencas de San Luis Potosí.

LU, S.; LIU, B.; HU, Y.; FU, S.; CAO, Q.; SHI, Y.; HUANG, T. Soil erosion topographic factor (LS): Accuracy calculated from different data sources. CATENA, v. 187, 2021, e 104334.

<https://doi.org/10.1016/j.catena.2019.104334>

MARTÍNEZ-MENA, M.; CARRILLO-LÓPEZ, E.; BOIX-FAYOS, C.; ALMAGRO, M.; GARCÍA FRANCO, N.; DÍAZPEREIRA, E. Long-term effectiveness of sustainable land management practices to control runoff, soil erosion, and nutrient loss and the role of rainfall intensity in Mediterranean rainfed agroecosystems. CATENA, v. 187, 2020, e 104352.

<https://doi.org/10.1016/j.catena.2019.104352>

MORENO DE LAS HERAS, M., LINDENBERGER, F., LATRON, J., LANA, N., LLORENS, P., ARNÁEZ, J., ROMERO DÍAZ, A., GALLART, F. (2019). Hydro-geomorphological consequence of the abandonment of agricultural terraces in the Mediterranean region: Key controlling factors and landscape stability patterns. Geomorphology, 333, 73-91. <https://doi.org/10.1016/j.geomorph.2019.02.014>

MUÑOZ, G.F.A.; GALICIA, S.L.; PÉREZ, E.H. Agricultura migratoria conductor del cambio de uso del suelo de ecosistemas alto andinos de Colombia. Biotecnología en el Sector Agropecuario y Agroindustrial, v. 16, n. 1, 2018, p. 15-25 h. <http://dx.doi.org/10.18684/bsaa.v16n1.630>

NEARING, M. A., XIE, Y., LIU, B. & YE, Y. (2017). Natural and anthropogenic rates of soil erosion. In: International Soil and Water Conservation Research, 5(2), 77-84.

PACHECO, H.A.; CEVALLOS, R.X.; VINCES, C.J. Cálculo del factor C de la RUSLE, en la cuenca del río Carache, Trujillo-Venezuela usando imágenes del

Satélite Miranda VRSS. Revista ESPACIOS, v. 40, n. 3, 2019. <http://www.revistaespacios.com/a19v40n03/19400306.html> [Consultado diciembre de 2020].

PANAGOS, P., BORRELLI, P., MEUSBURGER, K., ALEWELL, CHR., LUGATO, E., MONTANARELLA, L. (2015). Estimating the soil erosion cover-management factor at the European scale. *Land Use Policy* 48, 38-50.

[http:// dx.doi.org/10.1016/j.landusepol.2015.05.02](http://dx.doi.org/10.1016/j.landusepol.2015.05.02)

PANAGOS, P., BORRELLI, P., POESEN, J., BALLABIO, C., LUGATO, E., MEUSBURGER, K, MONTANARELLA, L., ALEWELL, CHR. (2015). The new assessment of soil loss by water erosion in Europe. *Environmental Science & Policy* 54, 438–447.

<http://dx.doi.org/10.1016/j.envsci.2015.08.012>

PÉREZ-SALINAS, J.E.; RODRÍGUEZ, F.R.; LÓPEZ-SANTOS, A.; TORRES-GONZÁLEZ, J.A.; MERAZ-JIMÉNEZ, A. DE J.; DÍAZ-ROMO, A.; VALDIVIA-MARTÍNEZ, O. Erodabilidad y riesgo de erosión de suelos negros del centro de México: estudio de un Phaozem. *Terra Latinoamericana*, v. 37, n.4, 2019, p. 391-400. <https://doi.org/10.28940/terra.v37i4.531>

PIJL, A.; REUTER, L.E.H.; QUARELLA, E.; VOGEL, T.A.; TAROLLI, P. GIS-based soil erosion modelling under various steep-slope vineyard practices. *CATENA*, v. 193, 2020, e104604.

<https://doi.org/10.1016/j.catena.2020.104604>

PRADO-HERNÁNDEZ, J.V; RIVERA-RUIZ, P.; LEÓN-MOJARRO, B.; CARRILLO-GARCÍA, M.; MARTÍNEZRUIZ, A. Calibración de los modelos de pérdidas de suelo

usle y musle en una cuenca forestal de México: Caso El Malacate. *Agrociencia*, v. 51, n. 3, 2017, p. 265-284. http://www.scielo.org.mx/scielo.php?pid=S1405-31952017000300265&script=sci_arttext

QUINTERO, A.F.C.; SALAZAR, L.A.L.; MELO, O.R. Determinación del riesgo a la erosión potencial hídrica en la zona cafetera del Quindío, Colombia. *Revista de investigación agraria y ambiental*, v. 8, n. 1, 2017, p. 17-26. <https://doi.org/10.22490/21456453.1828>

QUIÑONEZ, J. F. (2019). Estimación de la erosión hídrica potencial en la cuenca media. *Tesis para optar el título profesional de Ingeniero Mecánico de Fluidos*. Lima, Perú: Escuela Profesional de Ingeniería Mecánica de Fluidos, Facultad de Ciencias Físicas, Universidad Nacional Mayor de San Marcos.

RÍOS, J. D. (2018). Erosión hídrica y evolución del relieve en las cuencas de los ríos Grande y San Andrés, Antioquia – Colombia. *Tesis presentada como requisito parcial para optar al título de: Magister en Ingeniería – Recursos Hidráulicos*. Colombia: Facultad de Minas, Departamento de Geociencias y Medio Ambiente. Universidad Nacional de Colombia. Recuperado el Noviembre de 2020

ROQUE RODRIGO, G. P., & SANTIESTEBAN SOBENES, C. N. (2021). Evaluación del cambio morfológico en la cuenca del río Mala aplicando RUSLE y técnicas geospaciales. *Tesis para optar por el título profesional de Ingeniero Civil*. Lima, Perú: Universidad Peruana de Ciencias Aplicadas (UPC).

ROSAS, M. A. (2016). Cuantificación de la erosión hídrica en el Perú y los costos ambientales asociados. *Tesis Pontificia Universidad Católica del Perú*. Obtenido de <http://tesis.pucp.edu.pe/repositorio/handle/20.500.12404/6822>

ROSAS, M., & GUTIERREZ, R. (2016). Sediment Yield changes in the peruvian Andes for the year 2030. *XXVII Congreso Latinoamericano de Hidráulica*. Obtenido de <http://investigacionesyproyectoshidraulicos.com/web/Material%20Cientifico/Articulos/Mas%20de%201000%20Articulos/373.pdf>

ROSAS, M., & GUTIERREZ, R. R. (2020). Assessing soil erosion risk at national scale in developing countries: The technical challenges, a proposed methodology, and a case history. *Science of the Total Environment*, 703.

RUTEBUKA, J.; TAEYE, S.; KAGABO, D.; VERDOODT, A. Calibration and validation of rainfall erosivity estimators for application in Rwanda. *CATENA*, v. 190, 2020, e 104538. <https://doi.org/10.1016/j.catena.2020.104538>

SABINO ROJAS, EVELYN, FELIPE OBANDO, O. G., & LAVADO CASIMIRO, W. S. (2017). *Atlas de Erosión de Suelos por Regiones Hidrológicas del Perú*. Lima, Perú: Ministerio del Ambiente.

SAKUNO, N. R. R.; GUIÇARDI, A. C. F.; SPALEVIC, V.; AVANZI, J. C.; SILVA, M. L. N.; MINCATO, R. L. Adaptation and application of the erosion potential method for tropical soils. *Revista Ciência Agronômica*, v. 51, n. 1, e20186545, 2020. <https://dx.doi.org/10.5935/1806-6690.20200004>

SANTOS, W.M., SOUZA, R.M.S., SOUZA, E.S., ALMEIDA, A.Q. E ANTONIO, A.C.D., Variabilidade espacial da sazonalidade da chuva no semiárido brasileiro. *Journal of Environmental Analysis and Progress*, 2(4), pp. 368-376, 2017. DOI: 10.24221/jeap.2.4.2017.1466.368-376

SARTORI, M., PHILIPPIDIS, G., FERRARI, E., BORRELLI, P., LUGATO, E., MONTANARELLA, L. & PANAGOS, P. (2019). A linkage between the biophysical and the economic: Assessing the global market impacts of soil erosion. *Land use policy*, 86, 299-312.

SCHOLES, R.; MONTANARELLA, L.; BRAINICH, E.; BARGER, N. Summary for policymakers of the assessment report on land degradation and restoration of the Intergovernmental Science-Policy Platform on. 1, 2018, 46 p, ISBN 978-3-947851-04-1. https://www.fs.fed.us/research/publications/misc/94550_2018_scholes.pdf

SCHOLTEN, T.; SEITZ, S. Soil Erosion and Land Degradation. *Soil Systems*, v. 3, n. 4, 2019, 68 p.

<https://doi.org/10.3390/soilsystems3040068>

SILVA, B. P. C.; SILVA, M. L. N.; BATISTA, P. V. G.; PONTES, L. M.; ARAÚJO, E. F.; CURTI, N. Soil and water losses in eucalyptus plantation and natural forest and determination of the USLE factors at a pilot sub-basin in Rio Grande do Sul, Brazil. *Ciência e Agrotecnologia*, v. 40, n. 4, p. 432-442, 2016.

<http://dx.doi.org/10.1590/1413-70542016404013216>

STEM, M., & ECHEVARRIA, M. (2013). Mecanismo de retribución por servicios hídricos en la cuenca del río Rimac, departamento de Lima, Perú. Obtenido de http://www.forest-trends.org/documents/files/doc_4358.pdf

SYLVESTER, J.; VALENCIA, J.; VERCHOT, L.V.; CHIRINDA, N.; ROMERO-SANCHEZ, M.A.; QUINTERO, M.; CASTRO-NUÑEZ, A. A rapid approach for informing the prioritization of degraded agricultural lands for ecological recovery: A case study for Colombia. *Journal for Nature Conservation*, v. 58, 2020, e 125921. <https://doi.org/10.1016/j.jnc.2020.125921>

TAUTA-MUÑOZ, J. L.; CAMACHO-TAMAYO, J.H.; RODRÍGUEZ-BORRAY, G.A. Estimación de erosión potencial bajo dos sistemas de corte de caña panelera utilizando la ecuación universal de pérdida de suelos. Revista UDCA Actualidad & Divulgación Científica, v. 21, n. 2, 2018, p. 405-413.

<https://doi.org/10.31910/rudca.v21.n2.2018.1074>

THAI, T. H., THAO, N. P., & DIEU, B. T. (2017). Assessment and simulation of impacts of climate change on erosion and water flow by using the soil and water assessment tool and GIS: Case study in Upper Cau River basin in Vietnam. Vietnam Journal of Earth Sciences, 39(4), 376-392.

TAVARES, A. S.; SPALEVIC, V.; AVANZI, J. C.; NOGUEIRA, D. A.; SILVA, M. L. N.; MINCATO, R. L. Modeling of water erosion by the erosion potential method in a pilot subbasin in southern Minas Gerais. Semina: Ciências Agrárias, v. 40, n. 2, p. 555-572, 2019.

<http://dx.doi.org/10.5433/1679-0359.2019v40n2p555>

TOUBAL, A. K., ACHITE, M., OUIILLON, S., & DEHNI, A. (2018). Soil erodibility mapping using the RUSLE model to prioritize erosion control in the Wadi Sahouat basin, North-West of Algeria. Environmental Monitoring and Assessment, 190(4), 210. <https://doi.org/10.1007/s10661-018-6580-z>

TRIBAK, A., ABAHROUR, M., EL GAROUANI, A., ARARI, K., AMHANI, Z. (2017). Evaluation quantitative de l'érosion hydrique dans un environnement méditerranéen: cas de quelques bassins marneux du préif oriental maroc. In Eau et climat en Afrique du Nord et au Moyen-Orient (101-112). Târgoviste: Editions Transversal.

WISCHMEIER, W. H., & SMITH, D. D. (1978). *Predicting rainfall erosion losses*. Predicting rainfall erosion losses - A guide to conservation planning.

XAVIER, R.A, MACIEL, J.S. E SILVA, V.M.A., Análise espacial das chuvas na bacia do rio Taperoá, Região Semiárida da Paraíba. *Revista Brasileira de Geografia Física*, 9(5), pp. 1357-1369, 2016. DOI: 10.5935/1984-2295.20160093

XIONG, M., SUN, R. & CHEN, L. (2019) Global analysis of support practices in USLE-based soil erosion modeling. *Progress in Physical Geography: Earth and Environment*, 43(3), 391-409

ZHANG, K.; YU, Y.; DONG, J.; YANG, Q.; XU, X. Adapting & testing use of USLE K factor for agricultural soils in China. *Agriculture, Ecosystems & Environment*, v. 269, 2019, p. 148-155.

<https://doi.org/10.1016/j.agee.2018.09.033>

Anexo 3: Matriz de consistencia de variables.

PROBLEMA GENERAL	OBJETIVOS	HIPOTESIS	VARIABLES	DIMENSIONES	INDICADORES
$P_o =$ ¿En que medida la ecuacion de RUSLE y el modelo WEPP influyen en el indice de erosion hidrica en la sub-cuenca Chonta, Ancash- 2023?	$o =$ Determinar en que medida la ecuacion de RUSLE y el modelo WEPP influyen en el indice de erosion hidrica en la sub-cuenca Chonta, Ancash- 2023	$H_o =$ El modelo WEPP influye sustancialmente en el indice de erosion hidrica en la sub-cuenca Chonta, Ancash- 2023	Ecuacion RUSLE y modelo WEPP	Ecuacion de RUSLE	Erosividad
				El modelo WEPP	Erosionabilidad
					Erosividad
					Erosionabilidad
PROBLEMAS ESPECIFICOS	OBJETIVOS ESPECIFICOS	HIPOTESIS ESPECIFICAS			
$P_o =$ ¿Como la ecuacion de RUSLE y el modelo WEPP influyen en el volumen de erosion hidrica en la sub-cuenca Chonta, Ancash- 2023?	Calcular como la ecuacion de RUSLE y el modelo WEPP influyen en el volumen de erosion hidrica en la sub-cuenca Chonta, Ancash- 2023	El modelo WEPP influye sustancialmente en el volumen de erosion hidrica en la sub-cuenca Chonta, Ancash- 2023	Indice de erosion hidrica	Parametros de erosion	Volumen de erosion (M3)
$P_o =$ ¿De que manera la ecuacion de RUSLE y el modelo WEPP influyen en la perdida de suelos en la sub-cuenca Chonta, Ancash- 2023?	Evaluar de que manera la ecuacion de RUSLE y el modelo WEPP influyen en la perdida de suelos en la sub-cuenca Chonta, Ancash- 2023	El modelo WEPP influye cuantitativamente en la perdida de suelos en la sub-cuenca Chonta, Ancash- 2023			Perdida de suelos (%)
$P_o =$ ¿Como la ecuacion de RUSLE y el modelo WEPP influyen en el desplazamiento de suelos en la sub-cuenca Chonta, Ancash- 2023?	Determinar como la ecuacion de RUSLE y el modelo WEPP influyen en el desplazamiento de suelos en la sub-cuenca Chonta, Ancash- 2023	El modelo WEPP influye cuantitativamente en el desplazamiento de suelos en la sub-cuenca Chonta, Ancash- 2023		Parametros geomorfologicos	Desplazamiento de suelos (Km)
$P_o =$ ¿En que medida la ecuacion de RUSLE y el modelo WEPP influyen en el flujo de escorrentias en la sub-cuenca Chonta, Ancash- 2023?	Calcular de que manera la ecuacion de RUSLE y el modelo WEPP influyen en el flujo de escorrentias en la sub-cuenca Chonta, Ancash- 2023	El modelo WEPP influye significativamente en el flujo de escorrentias en la sub-cuenca Chonta, Ancash- 2023			Flujo de escorrentias (m/seg)

Anexo 4: Matriz de operacionalización de variables.

Variable		Definición conceptual	Definición operacional	Dimensiones	Indicadores	Instrumento	Escala de medición
I n d e p t e n d	Ecuación RUSLE y modelo WEPP	Estos métodos están basados en modelos matemáticos y simulación física de variables. Son los procedimientos más usados para el cálculo de la erosión de suelos. Se determinan con factores de erodabilidad, erosionabilidad y topográficos dentro de periodos de tiempo.	Método de modelación matemática	Ecuación RUSLE	Parámetros de cálculo	Software	De razón
					Intensidad de precipitaciones	Hoja de cálculo	De razón
				Modelo WEPP	Parámetros de cálculo	Software	De razón
					Intensidad de precipitaciones	Hoja de cálculo	De razón
D e p e n d i e n	Índice de erosión hídrica	La erosión es un proceso en que se va perdiendo la capa superficial del suelo por causas naturales como las lluvias y las fuerzas del viento. La acción de uso del suelo por el hombre también causa erosión de tierras fértiles.	Cuantificación de suelos erosionados	Parámetros de erosión	Volumen de erosión	Software	De razón
					Pérdida de suelos	Software	De razón
				Parámetros geomorfológicos	Desplazamiento de suelos	Software	De razón
					Flujo de escorrentía	Software	De razón

ANEXO 5: Inventario de lagunas de la subcuenca del río Ocros

INVENTARIO DE LAGUNAS				
Nombre	Latitud	Longitud	Altitud	Área (km ²)
Yanacocha	-10.3265	-77.0105	4728	0.01314
Quimacocha	-12.1217	-75.7577	4631	0.01689
Pucayacu	-10.2939	-77.3066	4590	0.02184
Chonta baja	-10.2726	-77.2608	4691	0.05742
Chonta Alta	-10.2721	-77.2515	4691	0.05044
Aradococha	-10.2886	-77.2606	4691	0.03893
Huachuacocha	-10.2869	-77.2478	4378	0.05634
Sacnacocha	-10.2975	-77.2434	4574	0.05655
Huancarican	-10.3098	-77.2589	4752	0.06085
Yanacocha	-9.59494	-77.13076	4168	0.00790
Yanacocha	-9.31787	-77.87663	3770	0.06618
Aracocha	-10.3465	-77.3218	4679	0.04954
Tacracocha	-10.3491	-77.2859	4736	0.05957
Abascococha	-10.3743	-77.2836	4736	0.02610
Condorcococha	-10.0489	-76.8704	4391	0.07105
Tilishcocha	-10.3954	-77.2932	4631	0.02322
Carcuycocha	-10.3931	-77.3085	4631	0.01299
Milliscococha	-10.3965	-77.3231	4631	0.00737
Pacascococha	-10.3935	-77.2679	4693	0.01333
Estrellacocha	-10.3668	-77.2685	4736	0.02307
Querococha	-10.3439	-77.2639	4736	0.01395

Anexo 6: Tabla de elaboración de curva hipsométrica mediante hoja de Excel

Altitud (msnm)	Áreas	Áreas	Áreas que	% del	% del total	Área bajo la curva
700	0	0	472.909	0.00%	100.00%	
920	2.593	2.593	470.316	0.55%	99.45%	2100.538
1140	5.747	8.341	464.568	1.22%	98.24%	5919.718
1360	9.694	18.034	454.875	2.05%	96.19%	12117.302
1580	13.745	31.780	441.130	2.91%	93.28%	20205.356
1800	16.366	48.147	424.762	3.46%	89.82%	27661.146
2020	16.869	65.017	407.893	3.57%	86.25%	32220.626
2240	18.542	83.558	389.351	3.92%	82.33%	39493.948
2460	20.331	103.889	369.020	4.30%	78.03%	47777.089
2680	19.270	123.159	349.750	4.07%	73.96%	49524.262
2900	21.823	144.982	327.927	4.61%	69.34%	60885.983
3120	20.526	165.508	307.401	4.34%	65.00%	61784.346
3340	26.644	192.153	280.756	5.63%	59.37%	86060.967
3560	29.858	222.011	250.898	6.31%	53.05%	103010.961
3780	23.875	245.885	227.024	5.05%	48.01%	87619.473
4000	21.232	267.117	205.792	4.49%	43.52%	82591.783
4220	23.195	290.312	182.597	4.90%	38.61%	95331.924
4440	31.143	321.455	151.454	6.59%	32.03%	134848.583
4660	73.776	395.231	77.678	15.60%	16.43%	335679.234
4880	72.572	467.803	5.106	15.35%	1.08%	346169.409
5069.3	5.106	472.909	0.000	1.08%	0.00%	25400.457
	472.909			100%		1656403.105

Anexo 7: Calculo de la altura media mediante hoja de cálculo

<u>ALTURA MEDIA DE LA CUENCA</u>				
ALTITUD		HM	AP	HMXAP
700	920	810	2.593256789	2100.537999
920	1140	1030	5.747299173	5919.718148
1140	1360	1250	9.693841966	12117.30246
1360	1580	1470	13.74514021	20205.35611
1580	1800	1690	16.36754175	27661.14556
1800	2020	1910	16.86943756	32220.62574
2020	2240	2130	18.54175952	39493.94777
2240	2460	2350	20.33067608	47777.08879
2460	2680	2570	19.2701409	49524.2621
2680	2900	2790	21.82293313	60885.98343
2900	3120	3010	20.52636087	61784.34621
3120	3340	3230	26.64426228	86060.96715
3340	3560	3450	29.85824947	103010.9607
3560	3780	3670	23.87451578	87619.47293
3780	4000	3890	21.2318209	82591.78329
4000	4220	4110	23.19511539	95331.92427
4220	4440	4330	31.14285989	134848.5833
4440	4660	4550	73.77565574	335679.2336
4660	4880	4770	72.57220314	346169.409
4880	5100	4990	5.105978674	25478.83358
		TOTAL	472.9090492	1656481.482
			Em	3502.748541

Anexo 8: Resumen de parámetros fisiográficos.

PARÁMETROS			UND	NOMENCLATURA	Cuenca		
					Mi cuenca		
Superficie total de la cuenca			km ²	At	473.035		
Perímetro			km	P	120.402		
RELACIONES DE FORMA	FACTOR DE CUENCA	Coeficiente de Compacidad		1	$Kc=0.28*P/(At)^{0.5}$	1.550	
		FACTOR DE FORMA	Longitud (l al curso más largo)	km	LB	53.784	
			Ancho Medio	km	$AM=At/LB$	8.795	
			Factor de forma	1	$Ft=AM/LB$	0.164	
	RECTÁNGULO EQUIVALENTE	Lado Mayor	km	$L=Kc*(\pi*A)^{0.5}/2*(1+(1-4/\pi*Kc^2))$	50.900		
		Lado Menor	km	$B=At/L$	9.290		
SISTEMA DE DRENAJE	GRADO DE RAMIFICACIÓN			km	Orden 1	152.162	
				km	Orden 2	63.025	
				km	Orden 3	42.609	
		Longitud de total		km	Orden 4	32.873	
	NÚMEROS DE RÍOS PARA LOS DIFERENTES GRADOS DE RAMIFICACIÓN				1	Orden 1	117.000
					1	Orden 2	40.000
					1	Orden 3	38.000
					1	Orden 4	35.000
	Longitud dtotal de los ríos de diferentes grados		km	Lt		290.669	
	Número de ríos par los según grados		1	N° Ríos		230.000	
	Longitud de los ríos principales		km	Lr		32.873	
	Densidad de drenaje		km/km ²	$Dd=Lt/At$		0.614	
	Relación de Bifurcación		1	$Rb=N*Rn/(N*Rn+1)$		1.444	
	Extensión media para los diferentes grados		km	$Es=At/4Lt$		0.407	
Frecuencia de los ríos		r/km ²	$Fr=N^{\circ}Ríos/At$		0.486		
Desnivel total de la cuenca			km	Ht	4.369		
Altura media de la cuenca			m.s.n.m.	Hm	3502.749		
Pendiente de la cuenca (Sistema de Alvord)			%	$Ip=100*(D*Lc)*At$	43.268		
Pendiente de la cuenca (Sist. Del Rectángulo Manual)			%	$Ip=100*Ht/B$	47.032		
Pendiente media de los cauces de los ríos Taylor- Schwarz			%	lc	5.460		

Anexo 9: Ubicación de estaciones meteorológicas.

				SUR	OESTE
ESTACIÓN	ESTE	NORTE	ALTITUD	LATITUD	LONGITUD
	X	Y	Z	grado	grado
CHIQUIAN	263383.8	8877479.0	3414	0.0142972	411342.7316667
CAJATAMBO	282221.3	8841062.4	3432	0.0142972	429573.2933333
GORGOR	276789.8	8825153.9	3025	0.0142972	423876.5386111
MAYORARCA	242629.1	8876214.9	3335	0.0142972	390566.9413889
ACO	255531.8	8838405.5	2490	0.0142972	402839.2500000
CONGAS	233488.2	8856686.2	3018	0.0142972	381100.4750000
OCROS	236956.5	8848859.6	3249	0.0142972	384438.3958333

Anexo 10: Datos de precipitaciones tomado de Senamhi.

Estación : CAJATAMBO , Tipo Convencional - Meteorológica												
Departamento : LIMA			Provincia : CAJATAMBO			Distrito : CAJATAMBO			Año : 2018			
Latitud : 10° 28' 48.38"			Longitud : 76° 59' 22.91"			Altitud : 3412						
Fecha	Temperatura		Temperatura			Temperatura		Precipitación		Dirección del Viento	Velocidad del Viento (km/hora)	
	Max (°C)	Min (°C)	Bulbo			Bulbo		(mm)				
			Seco (°C)	Humido (°C)	Wet Bulb Globe (°C)	Wet Bulb Globe (°C)	07	19				
01 Dic 2018	17.4	4.5	6.6	16.5	8.6	4	7.9	5.9	0	0	NE	6
02 Dic 2018	17.5	4.7	5.2	17	8.2	3.2	7.2	7.3	0	0	NE	2
03 Dic 2018	17	6.5	7.6	15.8	9	4.6	8.3	6.2	0	0	NW	2
04 Dic 2018	17	5.3	6.7	16.3	9.1	3.1	8.5	6.5	0	0	NE	4
05 Dic 2018	16.5	4.9	5.9	15.5	9.2	2.2	7.9	4.8	0	0	NE	2
06 Dic 2018	16.4	4	5.3	14.9	8.4	2.4	7.4	6.2	0	4	NE	2
07 Dic 2018	16.4	5.3	8.4	15.1	9	5.9	7.5	7.9	0	5	C	
08 Dic 2018	16.5	6.1	7.9	17.2	11	6.2	12.4	8.2	0	0	NE	2
09 Dic 2018	20.5	7.9	9.4	17.4	10.8	6.2	10.4	8.2	0	0	NE	4
10 Dic 2018	18	7	10.2	16.4	10	7.4	10.2	8.4	0	0	NE	4
11 Dic 2018	17.5	8	10.4	16.9	11.6	6.4	11.4	7.2	0	0	NE	4
12 Dic 2018	17.5	7.5	10.6	15.8	11.5	6.1	8.8	8.2	0	0	NE	4
13 Dic 2018	18.2	5.7	7.1	16.6	10.8	5.3	10.4	8.7	0	0	NE	4
14 Dic 2018	17.5	6.4	8.4	16.2	9.2	6.3	11.5	6.5	0	11.2	NE	6
15 Dic 2018	17.5	7.7	9.1	17.2	10.1	8.1	10.7	8.8	0	1.9	NE	2
16 Dic 2018	18	6.4	8.2	14.3	10	7.4	10.8	9	2	1.5	SE	2
17 Dic 2018	16.1	8.2	8.8	14.9	10.4	8.2	11	6.4	9.9	9	SE	2
18 Dic 2018	15.4	8	9	17.2	8.4	8.2	11	7.8	0	4.9	NE	2
19 Dic 2018	15.5	6.7	7	11.8	9.3	5.8	11.4	8.9	0	1.9	NE	2
20 Dic 2018	15.3	6.8	7.4	14.6	9.7	7.2	12	9.4	6	2.8	NE	4
21 Dic 2018	14.9	6.8	8.2	11.6	8.6	7.2	9.2	9.2	27.2	5.1	NE	2
22 Dic 2018	14.5	6.4	8.3	11.2	9.2	7.4	9.8	9	0	1.5	SE	2
23 Dic 2018	17.1	6.8	7.7	16.9	11	6.7	12.3	8.2	0	0	NE	2
24 Dic 2018	17	7.9	8.8	16.4	9.4	7.4	11.4	8.1	0	9	NE	2
25 Dic 2018	18	7.1	8.8	16.8	11.1	7.2	11.8	9	0	0	NE	6
26 Dic 2018	16.5	7.5	9.4	15.4	10.4	7.8	10.4	8.2	0	0	NE	4
27 Dic 2018	17.2	6.8	8.8	16	8.9	6.5	11.5	6.9	0	1.1	NE	2
28 Dic 2018	17.2	7.2	8	14.1	8.2	6.4	11	8.2	0	6	C	
29 Dic 2018	17	6.5	7.4	14.9	9.2	5.8	10.8	8.6	0	0	NE	2
30 Dic 2018	17.2	6.4	7.5	16.6	11.6	5.8	11.4	8.6	0	0	NE	4
31 Dic 2018	18.5	7.5	8	17.5	11.2	6	11.8	8.8	0	0	NE	2

* Fuente : SENAMHI - Dirección de Redes de Observación y Datos

* Información sin Control de Calidad

* El uso de esta información es bajo su entera Responsabilidad

Anexo 11: precipitación mensual período 1973-2021 estación Aco

ESTACIÓN METEOROLOGICA "ACO"														
											UTM		ESTE (X) 255531.8	
													NORTE(Y) 8838405.5	
PERIODO: 1973 A 2021			PRECIPITACIÓN MENSUAL(mm)											ALTITUD(msnm): 2490
AÑO	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SET	OCT	NOV	DIC	TOTAL	
1973	29.90	38.70	76.00	3.30	0.00	0.00	0.00	0.00	1.40	0.80	2.00	10.10	162.20	
1974	26.30	11.60	16.10	4.80	0.00	0.00	0.00	0.00	5.60	31.20	1.00	5.80	102.40	
1975	33.90	99.00	47.10	3.30	0.30	0.00	2.80	0.00	0.00	13.00	3.00	1.50	203.90	
1976	3.10	18.00	19.70	3.80	5.80	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	2.00	0.50	52.90	
1977	1.00	18.00	23.90	0.50	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	7.00	9.50	21.50	81.40	
1978	94.60	8.80	25.70	17.70	10.10	0.00	0.00	0.00	9.00	0.30	8.80	9.80	184.80	
1979	29.50	29.90	39.70	11.90	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	7.30	5.40	13.50	137.20	
1980	41.40	34.60	156.80	7.40	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	4.30	3.40	25.60	273.50	
1981	44.70	28.50	34.70	12.40	0.00	0.00	1.30	4.00	5.00	14.50	4.50	24.90	174.50	
1982	21.40	68.40	28.60	3.70	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.20	7.00	129.30	
1983	19.10	29.90	66.60	2.60	0.00	0.60	0.00	1.20	0.00	3.80	0.00	14.90	138.70	
1984	57.80	36.10	27.00	8.50	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	7.60	137.00	
1985	23.70	79.60	20.30	1.50	0.00	0.00	0.00	0.00	0.80	0.00	2.10	2.90	130.90	
1986	9.90	18.70	27.60	3.20	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	3.50	6.60	69.50	
1987	1.90	8.50	74.10	4.20	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	1.00	0.60	0.00	90.30	
1988	19.00	0.00	8.60	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	14.40	4.80	8.40	55.20	
1989	27.10	55.10	46.40	14.60	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	5.00	14.50	162.70	
1990	19.70	26.10	18.20	3.90	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.50	5.30	8.40	82.10	
1991	7.30	29.30	169.80	20.10	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.10	14.00	12.90	253.50	
1992	18.60	61.20	50.90	8.30	0.60	0.00	0.00	0.00	2.90	7.90	0.20	11.20	161.80	
1993	7.50	23.20	69.00	7.10	3.10	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.40	13.50	123.80	
1994	27.60	26.60	42.20	5.90	0.50	0.00	0.00	1.10	0.00	0.00	1.20	10.90	116.00	
1995	14.10	33.60	87.50	7.90	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	3.40	9.10	155.60	
1996	15.40	29.40	19.40	0.40	0.00	0.10	0.00	0.00	0.00	0.00	1.90	12.50	79.10	
1997	51.70	117.00	52.20	3.30	0.00	0.10	0.00	0.00	1.60	6.40	3.50	0.00	235.80	
1998	11.30	2.90	33.70	7.40	0.00	0.00	0.00	0.00	1.60	4.70	26.70	12.20	100.50	
1999	12.50	22.60	19.70	4.40	0.00	0.00	0.00	4.20	7.20	12.30	2.30	7.50	92.70	
2000	18.30	21.30	34.40	2.60	0.00	0.00	0.10	0.00	14.40	70.60	0.70	15.70	178.10	
2001	8.90	13.20	116.70	11.00	0.20	0.10	0.00	0.00	0.40	10.50	3.90	12.10	177.00	
2002	4.90	17.60	32.20	4.20	0.60	0.00	0.00	0.00	0.00	0.20	1.40	4.90	66.00	
2003	33.30	31.20	23.10	2.60	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	2.30	17.70	110.20	
2004	20.80	19.60	36.70	8.60	0.70	0.00	0.00	0.00	3.70	39.70	3.50	5.20	138.50	
2005	8.40	38.80	23.80	9.10	0.50	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	5.00	43.80	129.40	
2006	174.50	95.20	302.80	14.90	1.40	0.00	3.70	0.00	0.00	2.20	3.10	17.80	615.60	
2007	21.10	48.60	32.10	5.30	0.00	0.20	0.00	0.00	12.30	32.60	5.10	15.40	172.70	
2008	35.80	42.20	32.30	2.60	0.00	0.00	0.60	0.00	0.00	2.60	0.00	14.70	130.80	
2009	24.90	82.40	125.70	34.70	6.60	0.00	0.00	0.00	9.20	12.90	9.40	4.30	310.10	
2010	17.00	32.80	27.40	12.70	0.00	0.00	0.10	2.60	6.40	20.70	12.70	22.70	155.10	
2011	16.90	15.20	41.50	8.20	1.10	0.00	3.20	0.00	0.00	1.30	0.40	16.20	104.00	
2012	28.60	68.40	45.40	4.60	0.00	0.00	2.80	4.70	10.30	9.90	18.80	8.00	201.50	
2013	23.70	10.10	12.10	0.90	0.00	0.00	0.00	0.60	0.00	0.00	9.90	16.50	73.80	
2014	30.00	58.90	61.60	12.70	0.20	0.00	0.00	0.00	0.00	3.20	2.50	20.80	189.90	
2015	32.30	26.70	37.80	12.50	0.00	0.20	0.00	0.00	0.00	0.00	6.70	11.90	128.10	
2016	34.80	41.80	167.90	6.10	0.10	0.00	0.00	0.00	0.00	8.30	9.50	23.80	292.30	
2017	57.00	39.00	144.40	27.50	2.10	0.00	0.00	2.50	0.90	13.70	5.00	12.50	304.60	
2018	23.70	15.90	17.90	1.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	1.20	20.40	80.10	
2019	32.30	45.10	19.50	25.60	0.00	0.00	1.70	3.90	0.30	0.30	7.10	9.70	145.50	
2020	12.20	39.90	49.10	14.70	0.90	0.00	0.00	3.10	2.40	4.00	9.00	16.90	152.20	
2021	14.30	53.70	126.60	5.50	0.00	0.00	0.00	0.00	0.50	3.00	3.30	9.80	216.70	
PROM	27.42	37.00	57.40	8.16	0.71	0.03	0.33	0.57	1.96	7.45	4.80	12.53	158.36	
DESV	26.92	25.35	54.81	7.22	1.89	0.09	0.89	1.28	3.58	12.76	5.07	7.82	91.38	

Anexo 12: precipitación mensual período 1973-2021 estación Chiquián

ESTACIÓN METEOROLÓGICA "CHQUIAN"														
											UTM		ESTE (X) 263383.8	
													NORTE(Y) 8877479	
PERIODO:1973 A 2021			PRECIPITACIÓN MENSUAL(mm)											ALTITUD(msnm):3414
AÑO	ENE	FEB	MAR	ABR	MAYO	JUN	JUL	AGO	SET	OCT	NOV	DIC	TOTAL	
1973	47.10	152.20	189.80	36.30	3.30	1.20	3.60	4.40	19.30	34.60	21.90	110.20	623.9	
1974	128.70	61.10	57.90	57.40	11.90	0.00	0.00	0.20	11.80	####	34.20	42.20	538.1	
1975	109.00	254.10	196.40	39.20	20.10	2.80	8.30	7.60	16.60	92.80	20.20	36.70	803.8	
1976	112.90	66.30	113.80	13.60	20.10	7.90	1.40	4.30	25.00	40.80	46.80	25.20	478.1	
1977	54.90	120.10	119.90	59.70	0.50	0.90	1.50	0.70	6.40	41.60	118.20	128.50	652.9	
1978	145.20	91.20	114.70	100.40	44.30	6.10	0.40	5.40	68.10	69.20	65.30	133.60	843.9	
1979	76.00	150.80	185.60	44.40	6.10	0.50	0.00	48.20	17.40	42.10	20.50	120.20	711.8	
1980	122.40	135.90	173.70	104.00	77.50	2.80	0.00	0.00	0.60	0.00	20.90	163.10	800.9	
1981	244.90	183.00	217.90	128.40	14.40	1.00	0.00	7.00	44.80	78.60	91.70	125.10	1136.8	
1982	126.90	209.50	137.40	39.20	5.90	9.50	0.00	0.00	0.00	46.00	99.80	0.00	674.2	
1983	141.40	130.10	199.40	43.40	48.80	13.00	0.00	13.00	17.20	12.00	41.40	95.40	755.1	
1984	201.70	204.50	136.70	18.60	0.00	20.50	4.00	0.00	6.20	0.00	0.00	44.00	636.2	
1985	83.90	181.70	108.70	9.00	14.90	0.00	3.00	0.00	10.00	12.90	71.60	95.40	591.1	
1986	66.50	131.70	64.60	30.70	0.00	0.00	####	4.00	22.90	33.40	57.00	46.50	471.3	
1987	42.90	131.30	215.40	48.20	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	6.50	0.00	0.00	444.3	
1988	29.00	0.00	35.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	7.50	129.00	81.00	281.5	
1989	105.20	345.50	259.90	105.60	0.00	0.00	0.00	50.00	0.00	####	371.20	59.00	1551.2	
1990	143.00	135.60	20.80	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	69.60	40.90	11.40	421.3	
1991	71.40	101.00	0.00	0.00	0.00	18.20	0.00	0.00	0.00	0.00	30.40	58.80	279.8	
1992	688.20	393.40	282.80	152.40	0.00	10.00	0.00	0.00	0.00	0.00	68.20	76.00	1671	
1993	130.40	112.60	71.60	30.40	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	14.40	112.70	472.1	
1994	27.30	132.00	62.00	84.50	18.90	9.40	0.10	2.10	15.50	3.00	39.80	154.80	549.4	
1995	170.10	100.30	65.10	26.70	8.50	0.00	4.70	2.90	35.60	5.80	49.10	90.10	558.9	
1996	189.00	58.50	100.70	127.60	15.90	0.50	0.00	1.60	9.50	42.00	33.50	69.10	647.9	
1997	214.70	167.90	100.80	31.40	5.20	0.00	0.00	0.00	3.10	32.00	11.90	12.40	579.4	
1998	106.50	42.70	53.20	21.90	4.00	0.00	2.00	0.00	12.00	####	74.00	62.60	506.3	
1999	82.20	81.80	145.90	73.30	71.40	0.00	0.00	2.60	28.40	68.20	36.30	62.10	652.2	
2000	7.70	49.90	63.70	54.10	7.70	5.00	0.00	17.70	0.00	43.00	18.50	31.00	298.3	
2001	190.60	204.00	224.80	181.60	17.90	0.00	4.50	10.00	12.40	74.40	129.30	91.60	1141.1	
2002	198.50	150.40	160.70	92.20	26.10	0.00	0.00	4.00	39.00	7.80	45.10	94.00	817.8	
2003	75.80	111.50	133.50	79.50	1.10	2.50	0.00	0.00	9.30	21.30	72.00	104.60	611.1	
2004	118.60	205.50	144.00	65.80	11.50	0.00	0.00	1.70	1.50	37.00	41.50	76.90	704	
2005	83.70	174.90	58.80	51.00	6.00	0.00	0.00	2.80	28.00	27.80	46.70	164.30	644	
2006	230.10	179.70	181.40	55.10	9.10	0.00	0.00	0.00	10.50	53.20	25.30	76.00	820.4	
2007	124.10	270.20	136.00	49.50	14.80	3.20	0.00	0.00	11.50	25.70	24.00	129.60	788.6	
2008	92.00	207.00	149.30	49.70	41.50	0.00	0.00	16.30	14.50	70.90	22.50	137.90	801.6	
2009	229.70	139.90	266.10	46.30	6.00	0.00	2.50	0.00	37.20	59.00	134.10	96.50	1017.3	
2010	69.40	181.10	196.70	103.70	12.90	0.00	0.00	0.00	15.00	####	76.90	115.30	879.5	
2011	102.00	78.70	130.60	69.00	3.50	0.00	0.00	0.00	0.00	27.30	15.80	126.50	553.4	
2012	23.40	72.50	107.60	38.00	0.00	6.50	0.00	0.00	44.90	50.30	83.40	118.00	544.6	
2013	67.00	88.00	172.30	50.50	8.00	0.00	0.00	3.50	0.00	22.00	15.50	110.80	537.6	
2014	100.40	138.60	181.20	99.00	4.50	4.50	0.00	0.00	20.70	31.00	66.00	138.40	784.3	
2015	109.90	53.50	157.20	119.20	20.00	0.00	0.00	0.00	0.00	48.20	16.70	46.50	571.2	
2016	191.60	148.80	92.20	71.00	1.00	0.00	0.00	0.00	2.00	55.50	39.00	43.50	644.6	
2017	112.10	176.40	162.80	105.80	21.50	0.00	0.00	0.00	0.00	14.00	46.00	95.30	733.9	
2018	77.00	91.40	103.60	47.20	0.00	4.70	0.00	0.00	12.40	24.50	42.40	136.80	540	
2019	146.00	57.50	131.40	97.50	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	9.30	69.50	150.90	662.1	
2020	111.60	162.00	161.30	105.20	9.70	0.00	0.00	0.00	28.00	0.00	68.30	104.50	750.6	
2021	16.00	159.00	200.80	27.50	16.00	0.00	0.00	0.00	3.00	77.50	45.50	116.20	661.5	
PROM	125.28	142.35	137.67	62.95	12.87	2.67	1.02	4.29	13.48	43.71	56.17	88.19	690.63	
DESV ST	100.08	73.37	63.76	40.28	17.08	4.73	2.51	10.12	15.00	44.70	56.07	43.26	262.44	

Anexo 13: precipitación mensual período 1973-2021 estación Cajatambo

ESTACIÓN METEOROLÓGICA "CAJATAMBO"													
											UTM		
											ESTE (X) 282221.3		
											NORTE(Y) 8841062.4		
PERIODO:1973 A 2021			PRECIPITACIÓN MENSUAL(mm)						ALTITUD(msnm):3432				
AÑO	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SET	OCT	NOV	DIC	TOTAL
1973	89	55.2	147.1	59.2	7.8	0	1.1	6.5	14.6	21.8	8.4	68.1	478.8
1974	111.9	94.4	117.6	49	6.6	0	0	0	0	68.1	48.2	62.8	558.6
1975	126.3	185.9	240	33.4	8.6	0	1.3	3.4	6.4	66.3	34.8	9	715.4
1976	122.2	42.8	83.6	3.8	22.2	0	0.5	8	6.8	45.4	118.8	69.5	523.6
1977	51.7	130.6	194.3	44.8	0	0.1	0.8	8.3	10.7	29.5	120.6	229	820.4
1978	168.1	81.9	100	107.9	32.3	4	0	4.6	68.7	56.6	78.2	66.7	769
1979	108.9	118.4	229.4	45.9	0	0	0	7.7	57.4	21.1	133.3	154.2	876.3
1980	162.6	127.5	259.2	68.6	2	0	0	0	14.5	17.7	17.1	46.4	715.6
1981	44.4	75.1	79	49.8	0	0	0	1	33	114	29	161.4	586.8
1982	125	179.8	136.7	45.3	0	0	0	0	0	0.8	16.6	15.8	520
1983	23	140	213.6	27.7	2	0	0	8.2	11.4	39	81.8	77.9	624.6
1984	97.3	134.7	108	12.8	0	6	0	0	0	0	0	6.9	365.7
1985	153.2	119.8	31.5	22	37	0	0	0	0	13.2	46.4	41	464.1
1986	72.4	34	98.1	29.1	2.1	0	2.1	0.3	4.3	2.8	5.5	6.1	256.8
1987	30.1	96	118.8	37	7.4	0	0	0	0	14.5	13	42	358.8
1988	44.5	9.3	66	0	0	0	0	0	0	92.9	96.1	41.8	350.6
1989	77.6	214.7	221	0	0	0	0	0	0	0	33.1	19.8	566.2
1990	39.2	101.7	83.9	11.4	0	0	0	0	0	48.2	55.1	53.3	392.8
1991	74.3	56.7	70	10.9	1	0	0	0.3	0	0	11.1	20.5	244.8
1992	160	175.5	215.5	90.8	4.8	0.3	0.9	0.2	1.3	82.3	134.6	160.8	1027
1993	86.5	113.3	83.4	9	0	0	0	0	7.2	0	0	53.6	353
1994	4.7	0	63	61.8	0	0	0	0	0	0	17.5	78.1	225.1
1995	19.5	165.9	12	15.8	0	0	0	0	4.7	10.4	38	75.9	342.2
1996	25.2	24.5	94.4	73.9	5	0	0	0	0	0	44.00	115.1	382.1
1997	195.4	205.8	139.3	6.6	0	13	0	0	5.7	50.9	37.7	53.7	708.1
1998	58.3	33.5	17.7	9.3	2.3	12.1	0	0	4	60.8	32.8	1.4	232.2
1999	62.1	65.3	149.4	52.6	10	0	1.1	3	10.7	34.7	28.2	15.9	433
2000	11	0	123.7	39.6	3.2	0	0	1.5	6.1	23.4	0	0	208.5
2001	78.5	136.7	189.9	105.2	13.7	0	0	0	0	47.2	119.5	116.7	807.4
2002	179.3	216.5	177.4	83.8	1.7	0	0	0.5	10.1	8.8	23.2	73.6	774.9
2003	73.2	52.2	104.3	56.6	6.3	0	0	0	3.1	7.5	47	126.6	476.8
2004	109	125.9	143.9	39.2	8.5	0	0	4.2	0.6	35.3	20.6	76.5	563.7
2005	108.5	168.2	55.7	25.7	4.5	0	0	0.4	15.9	25.4	63.6	233.9	701.8
2006	162.7	179.5	153.1	46.9	2.7	3.1	0	4.5	6	69.7	16.4	59.8	704.4
2007	138	247.9	108.3	55.5	48.9	14.5	0	0.5	17.1	46.9	40.3	90.6	808.5
2008	149.8	187.6	138.7	64.7	23.9	0	1.4	10.7	13.6	41.5	29.8	151.7	813.4
2009	166.3	114.3	250.4	42	8.3	1.3	0.3	0	14.5	39	117.6	66.4	820.4
2010	52.4	110.2	165.3	95.8	6.3	7	0	0	15.6	65	67.5	83.4	668.5
2011	91.2	105.5	114.2	39.3	4.1	0	0	0	0	25.4	18.2	153.1	551
2012	32.5	155.3	86.2	45	3.6	0	4.4	0	24	63.6	74.3	92.5	581.4
2013	74.6	67.9	124.1	17	2.2	0	0	3	0.5	29.3	12.2	114.5	445.3
2014	120.4	174	214.8	118.4	2.8	5.4	0	2.9	7.4	26.1	62.8	124.5	859.5
2015	85.2	77.1	177.4	88.5	25.2	0	0	0.3	0	29.4	33.6	24.1	540.8
2016	141.6	171.8	132.2	51.6	0.2	0	0	3.2	2.3	64.5	35.5	87.9	690.8
2017	158.2	188.2	229.9	80.8	9.6	0	0.9	2.7	3	59.7	76.9	97.1	907
2018	89	102.7	122.3	36.5	0	0.5	0	0.3	17.7	8.7	56	181.2	614.9
2019	163.6	92.4	149	102	0.6	0.7	3	3.1	4.6	13	84	169.5	785.5
2020	104.3	162.5	148.7	112.2	5.2	0.1	0	0	21.7	42.5	75.9	74.1	747.2
2021	52.3	171.3	164.9	31.9	15.3	0	1.1	2.2	0.1	76.3	117.7	98.9	732
PROM	95.41	118.16	135.65	48.09	7.10	1.39	0.39	1.87	9.09	35.50	50.46	82.52	585.62
DESV	49.94	60.65	60.39	31.63	10.38	3.42	0.85	2.78	13.47	27.46	38.10	56.77	203.77

Anexo 14: precipitación mensual período 1973-2021 estación Ambar

ESTACIÓN METEOROLOGICA "AMBAR"													
											UTM		ESTE (X) 250658.8
													NORTE(Y) 8810201.5
PERIODO:1973 A 2021			PRECIPITACIÓN MENSUAL(mm)							AL TITUD(msmm): 2076			
AÑO	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SET	OCT	NOV	DIC	TOTAL
1973	24	24.5	123.1	4.5	0	0	0	0	0.2	27.8	9.6	3.3	217
1974	8.4	6.3	35.8	15.9	0	0	0	0	0	0.7	0	3.6	70.7
1975	49.4	143.1	133.5	25.7	1.8	0	0	0	4.6	1.3	0	3.8	363.2
1976	23.7	35.7	59.6	25.4	1.1	0	0	0	0	3.8	3	0	152.3
1977	0	83.7	143.4	30.3	0	0	0	0	0	0	0.1	81.2	338.7
1978	92.3	22.2	68.7	2.9	0	0	0	0	0	3	0.3	14.1	203.5
1979	11.3	109	338.9	10.1	0	0	0	0	0.1	3	2.2	8.2	482.8
1980	41.8	83.7	376.2	18	0	0	0	0	0	7.9	4.9	26.3	558.8
1981	88.8	5.9	260.6	13.1	0	0	0	0	0	15.1	0.6	29	413.1
1982	51.1	33.9	114.9	8.4	0	0	0	0	0.1	1.9	0	9.8	220.1
1983	111.2	71.9	298.1	11.8	0	0	0	0	0.9	2.7	0	16.7	513.3
1984	13.3	45.6	62.8	7.4	1.5	0	0	0	0.7	9.1	0.1	60.1	200.6
1985	12.5	90.9	293.1	10.6	0	0	0	0	0	0	0.6	8.8	416.5
1986	4.2	77.2	179	9.8	0	0	0	0	0	1.4	0.4	22.1	294.1
1987	5.4	13.7	128.5	0	0	0	0	0	5.8	3.6	1.4	6.2	164.6
1988	5.6	13.4	55.3	10.6	0	0	0	0	0	32.1	14.5	0	131.5
1989	1.2	140.8	200	13.1	0	0	0	0	0	0	0	0	355.1
1990	7.4	42.2	7	14.2	2.1	0	0	0	0	7.1	5.5	44.8	130.3
1991	26	89.4	138.2	42.5	0	0	0	0	0	1.1	0	48	345.2
1992	30.6	71.4	169	6.6	0	0	0	0	4.3	7.3	0	4.6	293.8
1993	0	101.4	238.3	19.3	0	0	0	0	0	0	0	5.4	364.4
1994	35.9	119.8	120.3	39	0	0	0	12.8	1.4	7.9	0	83	420.1
1995	68.3	49.3	61.3	4.6	0	0	0	0	0	2.5	0	6.3	192.3
1996	37.5	17.2	40.4	32.2	1.5	0	0	0	0	3	0	30.7	162.5
1997	118.6	132.2	219.1	14.9	0	0	0	0	0	3.8	0	1.1	489.7
1998	17.5	5.4	81.7	0	0	0	0	0	0	1.9	20	13.4	139.9
1999	20.4	22.3	68.6	11.3	0	0	0	0	0	9.1	10.4	23.7	165.8
2000	4.00	10.4	113.5	6.6	0	0	0	0	0	3.1	0.5	6.2	144.3
2001	14.4	12.3	77	44.7	10.6	0	0	0	0	6.8	2.3	62.9	231
2002	13.7	43.9	111.6	19.4	3.2	0	0	0	1.6	1.1	1.4	17	212.9
2003	38.9	38.6	57.1	12.7	0	0	0	0	0	18.1	5.7	3.6	174.7
2004	40.3	47.6	89.1	17.5	0	0	0	0	0	0.8	1.1	10	206.4
2005	21	37.8	32.3	11.9	4.8	0	0	0	0.4	0	29.3	59.3	196.8
2006	89	81.8	143.1	7.6	2.7	0	0	0	0.7	0	0	6.8	331.7
2007	35.5	218.9	56.3	45	12.1	0	0	0	1.1	1.9	6	17.6	394.4
2008	60.2	87	35.3	6.5	0.9	0	0	0	0.9	2	1.5	21.9	216.2
2009	61.6	71.6	74	14.7	0	0	0	0	0	0.4	14.4	10.6	247.3
2010	4.1	104.3	54.5	21.8	0	0	0	0	5.1	4.4	23.8	5.1	223.1
2011	22	35.2	53	7.4	0	0	0	0	0	2.8	1.9	46.5	168.8
2012	6.4	42.8	44.9	14.9	0	0	0	0	0	6.3	5.4	37	157.7
2013	32.8	29.8	36.4	9.7	0	0	0	0	0	2	0	20.3	131
2014	43	81.7	74.8	26.7	0	0	0	0	0.7	0	9.3	30	266.2
2015	32.6	27.3	92.4	23.6	0	0	0	0	0.1	9.2	1.3	6.1	192.6
2016	83.8	76.9	145.7	27.6	0	0	0	0	0	0.5	25.6	11.6	371.7
2017	90.6	137.9	63.9	29.7	0	0	0	0	0	2.1	10	12.6	346.8
2018	3.1	61	37.6	19.7	1	0	0	0	1.1	0	6.5	24.2	154.2
2019	40.7	25.4	36.4	25.8	0	0	0	0	0	0.5	7.5	24.6	160.9
2020	19.2	85.1	70.6	41.1	0	0	0	0	2.1	8.4	3	18.7	248.2
2021	15.4	68.3	62.3	9.7	0.1	0	0	0	0	2.5	4.6	6.4	169.3
PROM	34.26	62.81	113.82	17.28	0.89	0.00	0.00	0.26	0.65	4.69	4.79	20.68	260.12
DESV	30.72	44.42	84.99	11.57	2.37	0.00	0.00	1.81	1.38	6.50	7.11	20.55	116.04

Anexo 15: precipitación mensual período 1973-2021 estación Congas

ESTACIÓN METEOROLÓGICA "CONGAS"														
											UTM		ESTE (X) 233488.2	
													NORTE(Y) 8856686.2	
PERIODO: 1973 A 2021			PRECIPITACIÓN MENSUAL(mm)											ALTITUD(msnm):3018
AÑO	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SET	OCT	NOV	DIC	TOTAL	
1973	55.2	79.3	102	19.4	0.1	0	0	0	5.4	10.1	10.7	32	314.2	
1974	60.2	63.5	31.3	16.2	27.2	0	0	0	6.8	90.7	0.5	4.3	300.7	
1975	48.4	225.8	113.6	77	25.4	3.1	3.7	2.8	2.5	30.3	17	9.8	559.4	
1976	25.3	13.3	32.9	11	12.5	8.5	10.5	16.1	12.1	104.3	37.6	43.4	327.5	
1977	59.8	63.5	90.8	25.5	26.9	15.7	17.6	47.5	79.2	100.7	112.9	128.9	769	
1978	100.8	21	63.9	157.2	51.9	9.5	0.7	7.5	47	48.7	57.8	3.1	569.1	
1979	97.1	166.5	157.2	27.1	43.7	3.6	0.2	0	14	0.1	1.7	30	541.2	
1980	60	196	268.4	54	11.4	1.1	0.2	0.6	8.3	6.3	20.6	81.9	708.8	
1981	48.5	119.4	150.4	105	29.9	0.3	0	6.5	19.7	21.1	56.4	57.2	614.4	
1982	38.7	96.8	96.1	37.8	2.2	0.3	5	2.4	0.3	7.6	0	0	287.2	
1983	17.8	7.9	154.9	13.6	0	2.1	0.2	0	0.4	0.3	1.1	12.7	211	
1984	276.6	92.4	59.6	7.8	2	1.2	0.8	2.3	0.7	0.6	0.2	4	448.2	
1985	104.5	153.4	171.3	76.6	10.5	14.7	7.6	7.6	0.5	0	7	30.6	584.3	
1986	50.3	82.7	127.4	80.5	20.6	14.7	12.3	9.7	9.2	8.4	10.6	18.2	444.6	
1987	28.7	79.3	127.6	58.1	26.7	12.9	9	5	12	9.6	38.1	24.5	431.5	
1988	64.4	58.4	26	14.2	5.4	10.4	0	0	0	48	62.9	44.4	334.1	
1989	61.4	102.8	84.5	21.5	15.4	2.8	1.4	1.9	1.4	2.6	12	28.3	336	
1990	57.6	30	24.8	24.2	16.4	10.6	1	5.2	11.7	2.4	8.7	41.7	234.3	
1991	35.2	100	183.8	82.5	59.7	32.9	12.3	2.9	5	14.7	10.2	90	629.2	
1992	59.4	104.7	154.7	24.2	31.7	2.3	1	15.6	34.4	23.3	5.1	23.8	480.2	
1993	80.6	243.5	185.4	40.8	7.8	0	0	2.3	3.5	42.5	22.9	46.7	676	
1994	76.3	74.6	186.4	168.5	26.9	4	2.8	20.6	15.4	19.6	11.5	12.7	619.3	
1995	16	59.6	69.8	15.2	1.2	2.7	0.4	0	0.3	1.2	8.1	28.3	202.8	
1996	20.4	89.9	166.8	17	5.1	9.2	3.3	7.8	2.4	2.6	10.3	34.5	369.3	
1997	22.6	114	137.8	51.9	11.1	4.1	5.2	5.5	15.3	28	13.7	5.8	415	
1998	30.8	0	32.4	18.8	5.2	0.3	8.1	5.3	10.6	16	163.5	121.6	412.6	
1999	28.9	114.7	41.1	4.7	0	4	3.4	16.4	28.6	59.1	27.3	28.8	357	
2000	110.6	184.8	47.9	10.1	7.2	9	3.9	2.3	6.8	122.7	1.1	14.4	520.8	
2001	47.6	119.8	94.4	47.4	58.2	6.5	13.1	13.2	2.4	121.8	92.1	45.3	661.8	
2002	51	129.5	95.8	14.2	0	2.9	0.1	1.8	2.9	3.2	3.1	11	315.5	
2003	34.7	20.5	15.2	20.3	12.2	3.8	4.8	1.1	1.9	42.1	10.4	39.4	206.4	
2004	26.9	108.5	143.6	40.2	43.6	13.7	5.2	6.4	44.1	164.9	3.9	8.5	609.5	
2005	23.00	64.70	21.50	7.50	9.50	0.80	0.30	0.00	0.00	28.20	35.00	132.60	323.1	
2006	86.80	87.40	199.80	88.50	17.60	10.50	9.00	8.40	94.70	89.50	63.80	28.00	784	
2007	26.40	168.00	143.20	64.10	13.60	0.00	0.50	4.60	32.50	95.60	61.40	75.40	685.3	
2008	30.80	102.60	57.80	22.70	5.50	1.90	0.00	0.10	4.60	32.20	0.00	6.60	264.8	
2009	21.10	104.20	200.80	115.20	64.20	7.80	7.90	29.40	167.60	55.70	82.10	24.20	880.2	
2010	55.80	19.3	73.30	12.30	0.00	0.50	4.90	0.00	2.50	14.50	42.50	73.80	299.4	
2011	26.20	60.80	125.20	73.70	21.00	9.00	2.90	2.40	0.50	5.00	0.00	32.40	359.1	
2012	74.70	74.20	84.20	18.10	16.50	4.30	2.60	11.20	46.10	8.30	116.10	87.70	544	
2013	22.70	50.80	25.80	14.10	2.90	0.30	0.10	2.30	8.90	0.00	34.60	82.30	244.8	
2014	20.80	85.40	104.40	16.60	13.30	8.40	4.90	9.30	11.20	10.10	25.60	72.00	382	
2015	23.60	108.40	198.10	23.50	11.10	2.50	0.10	0.10	0.70	26.40	85.20	44.00	523.7	
2016	21.30	115.00	163.40	37.80	30.10	1.40	0.40	0.00	0.40	29.10	96.70	22.20	517.8	
2017	26.30	171.30	283.80	111.60	47.20	0.70	3.10	1.20	4.40	154.80	24.60	36.50	865.5	
2018	55.10	60.60	106.50	8.40	4.00	3.70	0.10	0.50	0.00	4.40	1.80	12.30	257.4	
2019	51.20	55.60	34.90	51.10	33.90	4.70	7.80	3.90	2.60	10.20	11.00	34.90	301.8	
2020	25.40	118.50	122.00	32.50	15.60	2.30	0.20	0.30	0.3	3.80	47.10	84.70	452.7	
2021	35.60	77.60	165.30	53.10	30.80	2.00	2.70	6.20	12.90	33.30	49.80	104.90	574.2	
PROM	51.49	94.70	113.22	43.54	19.08	5.46	3.70	6.04	16.22	35.81	32.99	42.05	464.30	
DESV	40.79	53.35	64.53	38.14	16.97	6.00	4.24	8.55	29.33	42.48	36.76	34.18	177.36	

Anexo 16: precipitación mensual período 1973-2021 estación Ocros

ESTACIÓN METEOROLÓGICA "OCROS"															
											UTM		ESTE (X) 236956.5		
													NORTE(Y) 8848859.6		
PERIODO:1973 A 2021				PRECIPITACIÓN MENSUAL(mm)										ALTITUD(msnm): 3249	
AÑO	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SET	OCT	NOV	DIC	TOTAL		
1973	14.3	12.8	8.6	0.0	7.1	0.0	7.1	35.7	45.7	0.0	7.1	7.1	145.50		
1974	3.1	3.1	5.1	18.2	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	14.8	44.30		
1975	54.6	151.4	49.1	42.0	15.4	0.0	5.3	0.0	1.8	37.6	0.0	7.8	365.00		
1976	34.2	29.5	82.0	14.1	14.3	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	174.10		
1977	3.1	29.4	50.7	18.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	219.7	320.90		
1978	147.5	6.7	268.1	5.6	1.6	0.8	0.0	0.0	0.0	5.0	6.0	3.4	444.70		
1979	17.5	48.3	85.8	21.4	2.1	0.0	0.0	0.0	0.0	7.8	5.1	24.7	212.70		
1980	64.8	87.6	204.9	18.7	0.0	0.0	1.5	0.0	1.3	5.6	14.8	54.6	453.80		
1981	110.2	30.3	74.9	18.0	7.2	0.0	1.4	1.5	7.1	12.8	3.1	44.3	310.80		
1982	45.8	88.2	15.8	5.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	3.1	0.0	4.0	161.90		
1983	64.5	62.1	158.5	4.1	0.0	0.0	0.0	0.1	0.0	4.7	7.6	13.0	314.60		
1984	72.4	80.8	41.8	8.9	0.0	7.4	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	19.7	231.00		
1985	33.0	137.3	62.4	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	9.3	242.00		
1986	1.6	29.5	47.1	0.5	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.8	0.5	7.6	87.60		
1987	3.4	11.3	96.9	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	20.0	0.0	9.9	141.50		
1988	41.6	9.8	16.8	3.6	0.0	0.0	0.0	0.1	0.0	46.4	13.2	0.0	131.50		
1989	31.0	109.1	38.2	19.7	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	38.2	36.6	23.2	296.00		
1990	45.4	33.2	13.0	17.4	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	18.2	15.7	33.1	176.00		
1991	35.8	57.1	223.1	75.8	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	21.1	53.9	466.80		
1992	58.7	201.6	97.4	12.6	3.6	0.0	0.0	0.0	0.0	20.2	0.0	18.4	412.50		
1993	0.0	76.4	59.5	7.4	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	18.8	162.10		
1994	71.7	60.8	47.5	26.1	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	9.9	216.00		
1995	80.6	54.8	34.7	2.1	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	5.7	24.3	202.20		
1996	49.8	35.1	37.4	27.5	20.4	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	19.7	189.90		
1997	92.7	149.8	78.0	8.3	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	1.6	0.0	0.0	330.40		
1998	26.3	10.2	53.4	0.0	7.6	0.0	0.0	0.0	0.0	6.6	33.0	24.5	161.60		
1999	16.1	20.7	80.8	15.5	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	30.9	13.7	5.3	183.00		
2000	12.7	15.7	38.1	5.8	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	11.3	0.0	29.8	113.40		
2001	29.5	27.8	158.9	42.3	0.0	0.0	0.0	3.4	0.0	12.9	16.0	32.0	322.80		
2002	43.9	50.4	60.4	14.1	6.5	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	7.7	36.8	219.80		
2003	36.0	36.0	25.2	8.5	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	13.7	20.6	140.00		
2004	78.7	81.9	112.9	28.5	7.5	0.0	0.0	0.0	0.0	4.6	1.2	7.7	323.00		
2005	31.4	88.3	11.4	14.3	10.3	0.0	0.0	0.0	12.7	15.7	40.5	155.1	379.70		
2006	172.0	157.5	195.9	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	9.1	3.1	4.2	14.6	556.40		
2007	37.7	251.0	65.2	57.9	20.5	0.8	0.0	0.0	8.6	18.8	3.9	21.9	486.30		
2008	64.2	89.1	48.5	29.8	10.8	0.0	0.0	0.0	1.6	17.6	7.3	50.0	318.90		
2009	98.0	132.0	112.1	34.5	0.0	0.0	0.0	0.0	4.4	6.6	21.9	8.3	417.80		
2010	18.0	64.8	69.1	36.5	0.0	0.0	0.0	0.0	9.7	20.8	23.0	20.7	262.60		
2011	48.6	39.3	81.1	14.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	4.0	3.0	56.5	246.50		
2012	24.4	121.2	42.1	8.2	2.4	0.0	0.0	0.0	2.2	9.3	7.6	42.3	259.70		
2013	28.0	12.0	30.4	26.9	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	4.0	33.2	134.50		
2014	59.7	50.8	102.0	38.6	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	8.1	7.3	37.9	304.40		
2015	48.7	31.0	114.2	32.6	4.6	0.0	0.0	0.0	0.0	6.6	3.6	4.1	245.40		
2016	57.1	72.8	137.9	19.0	0.0	1.6	0.0	0.0	0.0	2.8	33.8	10.1	335.10		
2017	119.9	173.3	118.9	46.6	3.1	0.0	0.0	0.0	0.0	13.0	7.8	24.3	506.90		
2018	35.0	31.0	39.8	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	65.2	171.00		
2019	62.3	40.6	37.7	33.1	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	16.8	45.8	236.30		
2020	22.0	114.4	123.1	53.9	0.0	0.0	0.0	0.0	5.5	30.8	14.3	28.9	392.90		
2021	13.0	141.1	144.7	3.2	2.7	0.0	0.0	0.0	0.0	16.2	3.8	11.0	335.70		
PROM	48.17	70.39	79.61	19.16	3.01	0.22	0.31	0.83	2.24	9.42	8.67	29.14	271.17		
DESV	36.25	55.77	58.36	17.08	5.30	1.07	1.26	5.06	6.95	11.46	10.43	37.07	118.21		

Anexo 17: precipitación mensual período 1973-2021 estación Gorgor

ESTACIÓN METEOROLÓGICA "GORGOR"													
PERIODO: 1965 A 2013		PRECIPITACIÓN MENSUAL(mm)										UTM	ESTE(X) 276789.8
													NORTE(Y) 8825153.9
													ALTITUD(msnm):3025
AÑO	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SET	OCT	NOV	DIC	TOTAL
1973	90.70	147.10	172.40	101.50	2.10	0.00	0.00	0.00	0.00	0.30	24.10	51.40	589.60
1974	115.80	111.60	210.80	34.90	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	29.20	38.10	60.90	601.30
1975	140.30	324.60	223.30	41.50	3.20	0.00	0.00	0.00	0.00	86.10	131.00	56.90	1006.90
1976	84.20	85.30	147.40	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	1.90	15.10	333.90
1977	45.30	127.10	200.80	4.70	0.00	0.00	0.00	0.00	9.50	12.40	33.20	93.10	526.10
1978	244.50	69.00	17.80	58.80	10.60	0.00	0.00	1.20	11.00	93.60	173.30	117.30	797.10
1979	79.50	97.90	198.90	61.70	1.50	0.00	0.00	0.00	0.00	54.40	106.20	152.60	752.70
1980	241.50	199.60	299.50	91.10	38.20	0.00	0.00	0.00	0.00	6.50	0.00	69.40	945.80
1981	138.10	166.10	255.10	90.80	7.80	0.00	0.00	0.00	0.00	27.70	41.80	106.60	834.00
1982	158.40	217.20	177.40	59.60	0.00	0.00	0.00	0.00	1.40	47.30	40.60	21.40	723.30
1983	99.10	144.30	285.30	90.40	26.20	0.00	0.00	0.00	0.00	19.20	54.20	63.50	782.20
1984	198.60	376.70	148.80	23.50	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	3.80	751.40
1985	83.70	236.50	184.00	65.30	5.50	0.00	0.00	0.00	0.00	27.10	37.20	0.00	639.30
1986	84.00	109.00	59.00	13.70	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	6.80	25.10	47.00	344.60
1987	52.80	74.40	122.70	57.60	5.50	0.00	0.00	0.00	0.00	14.20	40.40	57.10	424.70
1988	88.70	21.50	79.70	20.10	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	81.80	70.50	50.00	412.30
1989	126.00	187.30	207.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	43.30	63.60	0.00	627.20
1990	104.10	101.10	102.10	68.30	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	44.10	51.40	48.70	519.80
1991	73.90	69.00	186.30	36.80	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	26.30	44.40	436.70
1992	105.30	314.60	248.30	39.50	14.80	0.00	0.00	0.00	0.00	99.40	158.10	60.80	1040.80
1993	57.50	149.20	161.80	73.30	22.40	0.00	0.00	0.00	11.30	0.00	0.00	63.60	539.10
1994	74.60	128.40	119.50	61.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	15.60	51.00	450.10
1995	184.00	91.10	53.50	8.90	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	24.50	53.10	415.10
1996	168.10	93.20	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	66.20	167.70	495.20
1997	250.20	233.00	202.50	43.60	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	48.80	0.00	0.00	778.10
1998	78.10	33.50	43.10	0.00	0.00	0.00	0.00	3.20	0.00	60.10	97.40	67.60	383.00
1999	54.90	31.60	133.80	41.70	28.30	54.80	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	345.10
2000	0.00	76.80	150.20	52.30	22.00	5.30	0.00	0.00	10.80	61.70	0.00	29.80	408.90
2001	82.10	51.90	195.60	94.30	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	423.90
2002	227.40	263.70	149.60	111.20	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	7.50	0.00	98.70	858.10
2003	97.60	132.70	226.40	21.20	0.00	0.00	0.00	0.00	7.20	14.20	49.30	92.20	640.80
2004	171.50	172.80	214.20	87.80	26.50	0.00	0.00	0.00	0.00	15.20	5.70	74.80	768.50
2005	91.50	108.10	45.90	32.90	0.00	0.00	0.00	0.00	8.00	11.00	128.20	181.60	607.20
2006	251.80	307.60	234.20	63.40	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	31.50	18.40	44.70	951.60
2007	160.30	286.10	202.70	82.30	19.80	0.00	0.00	0.00	0.00	58.80	52.90	121.40	984.30
2008	123.40	187.00	85.20	46.50	20.60	0.00	0.00	0.00	0.00	35.80	40.60	150.00	689.10
2009	174.50	122.30	291.30	0.00	18.90	0.00	0.00	0.00	0.00	37.70	98.50	37.50	780.70
2010	69.30	182.80	180.80	96.50	12.40	0.00	0.00	0.00	15.30	64.80	73.10	59.90	754.90
2011	135.80	99.10	209.30	55.50	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	42.20	36.70	210.00	788.60
2012	53.40	117.20	111.00	58.30	0.00	0.00	0.00	0.00	36.90	23.20	21.70	110.30	532.00
2013	42.80	118.30	156.00	49.50	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	24.00	59.10	449.70
2014	49.00	50.40	81.50	31.90	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	18.80	26.30	34.60	292.50
2015	89.80	44.80	149.00	72.90	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	11.80	0.00	24.00	392.30
2016	69.10	113.50	127.60	59.20	0.00	9.40	0.00	13.30	4.60	28.20	73.80	8.40	507.10
2017	165.50	209.60	217.70	75.70	17.30	0.00	0.00	0.00	0.00	41.00	41.50	60.70	829.00
2018	83.80	142.80	170.50	44.40	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	39.20	144.00	624.70
2019	165.60	121.30	182.10	85.30	0.00	0.00	0.00	0.00	7.10	9.60	93.80	179.10	843.90
2020	84.40	318.80	193.00	119.80	14.70	0.00	0.00	0.00	21.30	39.10	37.90	106.30	935.30
2021	52.00	222.70	265.80	49.40	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	93.90	59.50	101.60	844.90
MEDA	115.56	150.82	164.91	52.62	6.50	1.42	0.00	0.36	2.95	29.56	45.75	70.44	640.89
D. TIP.	60.61	85.39	70.27	31.38	9.98	7.85	0.00	1.93	6.80	28.43	41.74	52.08	203.94

Anexo 18: Cálculo anual de IMF y R serie 1973-2021 estación de Aco

ESTACIÓN METEOROLOGICA "ACO"															
														UTM	
														ESTE (X) 276789.8	
														NORIE(Y) 8825153.9	
PERIODO:1973 A 2021				R (MJ*mm/(Ha*h))										ALTIUD(msnm):3025	
AÑO	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SET	OCT	NOV	DIC	F=IMF=SUM(Pi^2/P)	R=0.07397*(IMF)^1.847	
1973	5.51	9.23	35.61	0.07	0.00	0.00	0.00	0.00	0.01	0.00	0.02	0.63	51.09	105.777	
1974	6.75	1.31	2.53	0.23	0.00	0.00	0.00	0.00	0.31	9.51	0.01	0.33	20.98	20.430	
1975	5.64	48.07	10.88	0.05	0.00	0.00	0.04	0.00	0.00	0.83	0.04	0.01	65.56	167.644	
1976	0.18	6.12	7.34	0.27	0.64	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.08	0.00	14.63	10.504	
1977	0.01	3.98	7.02	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.60	1.11	5.68	18.40	16.043	
1978	48.43	0.42	3.57	1.70	0.55	0.00	0.00	0.00	0.44	0.00	0.42	0.52	56.04	125.485	
1979	6.34	6.52	11.49	1.03	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.39	0.21	1.33	27.31	33.257	
1980	6.27	4.38	89.89	0.20	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.07	0.04	2.40	103.25	387.858	
1981	11.45	4.65	6.90	0.88	0.00	0.00	0.01	0.09	0.14	1.20	0.12	3.55	29.01	37.175	
1982	3.54	36.18	6.33	0.11	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.38	46.54	89.018	
1983	2.63	6.45	31.98	0.05	0.00	0.00	0.00	0.01	0.00	0.10	0.00	1.60	42.82	76.338	
1984	24.39	9.51	5.32	0.53	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.42	40.17	67.831	
1985	4.29	48.40	3.15	0.02	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.03	0.06	55.96	125.152	
1986	1.41	5.03	10.96	0.15	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.18	0.63	18.35	15.963	
1987	0.04	0.80	60.81	0.20	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.01	0.00	0.00	61.86	150.573	
1988	6.54	0.00	1.34	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	3.76	0.42	1.28	13.33	8.846	
1989	4.51	18.66	13.23	1.31	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.15	1.29	39.16	64.728	
1990	4.73	8.30	4.03	0.19	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.34	0.86	18.45	16.118	
1991	0.21	3.39	113.74	1.59	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.77	0.66	120.36	514.849	
1992	2.14	23.15	16.01	0.43	0.00	0.00	0.00	0.00	0.05	0.39	0.00	0.78	42.94	76.729	
1993	0.45	4.35	38.46	0.41	0.08	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	1.47	45.22	84.412	
1994	6.57	6.10	15.35	0.30	0.00	0.00	0.00	0.01	0.00	0.00	0.01	1.02	29.37	38.038	
1995	1.28	7.26	49.20	0.40	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.07	0.53	58.75	136.884	
1996	3.00	10.93	4.76	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.05	1.98	20.71	19.949	
1997	11.34	58.05	11.56	0.05	0.00	0.00	0.00	0.00	0.01	0.17	0.05	0.00	81.23	249.044	
1998	1.27	0.08	11.30	0.54	0.00	0.00	0.00	0.00	0.03	0.22	7.09	1.48	22.02	22.347	
1999	1.69	5.51	4.19	0.21	0.00	0.00	0.00	0.19	0.56	1.63	0.06	0.61	14.64	10.510	
2000	1.88	2.55	6.64	0.04	0.00	0.00	0.00	0.00	1.16	27.99	0.00	1.38	41.65	72.516	
2001	0.45	0.98	76.94	0.68	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.62	0.09	0.83	80.60	245.478	
2002	0.36	4.69	15.71	0.27	0.01	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.03	0.36	21.43	21.261	
2003	10.06	8.83	4.84	0.06	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.05	2.84	26.69	31.881	
2004	3.12	2.77	9.72	0.53	0.00	0.00	0.00	0.00	0.10	11.38	0.09	0.20	27.92	34.651	
2005	0.55	11.63	4.38	0.64	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.19	14.83	32.22	45.134	
2006	49.46	14.72	148.94	0.36	0.00	0.00	0.02	0.00	0.00	0.01	0.02	0.51	214.05	1491.155	
2007	2.58	13.68	5.97	0.16	0.00	0.00	0.00	0.00	0.88	6.15	0.15	1.37	30.94	41.878	
2008	9.80	13.61	7.98	0.05	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.05	0.00	1.65	33.15	47.570	
2009	2.00	21.90	50.95	3.88	0.14	0.00	0.00	0.00	0.27	0.54	0.28	0.06	80.03	242.279	
2010	1.86	6.94	4.84	1.04	0.00	0.00	0.00	0.04	0.26	2.76	1.04	3.32	22.11	22.522	
2011	2.75	2.22	16.56	0.65	0.01	0.00	0.10	0.00	0.00	0.02	0.00	2.52	24.83	27.890	
2012	4.06	23.22	10.23	0.11	0.00	0.00	0.04	0.11	0.53	0.49	1.75	0.32	40.85	69.957	
2013	7.61	1.38	1.98	0.01	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	1.33	3.69	16.01	12.404	
2014	4.74	18.27	19.98	0.85	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.05	0.03	2.28	46.20	87.847	
2015	8.14	5.57	11.15	1.22	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.35	1.11	27.54	33.780	
2016	4.14	5.98	96.44	0.13	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.24	0.31	1.94	109.17	429.992	
2017	10.67	4.99	68.45	2.48	0.01	0.00	0.00	0.02	0.00	0.62	0.08	0.51	87.85	287.815	
2018	7.01	3.16	4.00	0.01	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.02	5.20	19.39	17.677	
2019	7.17	13.98	2.61	4.50	0.00	0.00	0.02	0.10	0.00	0.00	0.35	0.65	29.39	38.082	
2020	0.98	10.46	15.84	1.42	0.01	0.00	0.00	0.06	0.04	0.11	0.53	1.88	31.32	42.833	
2021	0.94	13.31	73.96	0.14	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.04	0.05	0.44	88.89	294.154	
MEDA	6.35	11.05	25.21	0.62	0.03	0.00	0.00	0.01	0.10	1.43	0.37	1.58	46.74	89.743	

Anexo 19: Cálculo anual de IMF y R serie 1973-2021 estación de Chiquian

ESTACIÓN METEOROLOGICA "CHQUIAN"															
														UTM	
														ESTE (X) 276789.8	
														NORTE (Y) 8825153.9	
PERIODO: 1973 A 2021				R (MJ*mm/(Ha*h))										ALTITUD(msnm): 3025	
AÑO	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SET	OCT	NOV	DIC	F=IMF=SUM(Pi^2/P)	R =0.07397*(IMF)^1.847	
1973	3.56	37.13	57.74	2.11	0.02	0.00	0.02	0.03	0.60	1.92	0.77	19.46	123.36	538.816	
1974	30.78	6.94	6.23	6.12	0.26	0.00	0.00	0.00	0.26	32.72	2.17	3.31	88.80	293.629	
1975	14.78	80.33	47.99	1.91	0.50	0.01	0.09	0.07	0.34	10.71	0.51	1.68	158.92	860.245	
1976	26.66	9.19	27.09	0.39	0.85	0.13	0.00	0.04	1.31	3.48	4.58	1.33	75.05	215.170	
1977	4.62	22.09	22.02	5.46	0.00	0.00	0.00	0.00	0.06	2.65	21.40	25.29	103.59	390.286	
1978	24.98	9.86	15.59	11.94	2.33	0.04	0.00	0.03	5.50	5.67	5.05	21.15	102.15	380.299	
1979	8.11	31.95	48.39	2.77	0.05	0.00	0.00	3.26	0.43	2.49	0.59	20.30	118.35	499.089	
1980	18.71	23.06	37.67	13.50	7.50	0.01	0.00	0.00	0.00	0.00	0.55	33.21	134.21	629.639	
1981	52.76	29.46	41.77	14.50	0.18	0.00	0.00	0.04	1.77	5.43	7.40	13.77	167.08	943.590	
1982	23.89	65.10	28.00	2.28	0.05	0.13	0.00	0.00	0.00	3.14	14.77	0.00	137.36	657.208	
1983	26.48	22.42	52.66	2.49	3.15	0.22	0.00	0.22	0.39	0.19	2.27	12.05	122.55	532.325	
1984	63.95	65.73	29.37	0.54	0.00	0.66	0.03	0.00	0.06	0.00	0.00	3.04	163.39	905.456	
1985	11.91	55.85	19.99	0.14	0.38	0.00	0.02	0.00	0.17	0.28	8.67	15.40	112.80	456.740	
1986	9.38	36.80	8.85	2.00	0.00	0.00	0.42	0.03	1.11	2.37	6.89	4.59	72.45	201.630	
1987	4.14	38.80	104.43	5.23	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.10	0.00	0.00	152.70	799.069	
1988	2.99	0.00	4.35	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.20	59.12	23.31	89.96	300.747	
1989	7.13	76.95	43.55	7.19	0.00	0.00	0.00	1.61	0.00	41.85	88.83	2.24	269.36	2279.706	
1990	48.54	43.64	1.03	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	11.50	3.97	0.31	108.99	428.629	
1991	18.22	36.46	0.00	0.00	0.00	1.18	0.00	0.00	0.00	0.00	3.30	12.36	71.52	196.881	
1992	283.43	92.62	47.86	13.90	0.00	0.06	0.00	0.00	0.00	0.00	2.78	3.46	444.11	5740.832	
1993	36.02	26.86	10.86	1.96	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.44	26.90	103.03	386.393	
1994	1.36	31.71	7.00	13.00	0.65	0.16	0.00	0.01	0.44	0.02	2.88	43.62	100.84	371.314	
1995	51.77	18.00	7.58	1.28	0.13	0.00	0.04	0.02	2.27	0.06	4.31	14.52	99.98	365.491	
1996	55.13	5.28	15.65	25.13	0.39	0.00	0.00	0.00	0.14	2.72	1.73	7.37	113.56	462.406	
1997	79.56	48.65	17.54	1.70	0.05	0.00	0.00	0.00	0.02	1.77	0.24	0.27	149.79	771.223	
1998	22.40	3.60	5.59	0.95	0.03	0.00	0.01	0.00	0.28	32.06	10.82	7.74	83.48	261.938	
1999	10.36	10.26	32.64	8.24	7.82	0.00	0.00	0.01	1.24	7.13	2.02	5.91	85.62	274.515	
2000	0.20	8.35	13.60	9.81	0.20	0.08	0.00	1.05	0.00	6.20	1.15	3.22	43.86	79.794	
2001	31.84	36.47	44.29	28.90	0.28	0.00	0.02	0.09	0.13	4.85	14.65	7.35	168.87	962.370	
2002	48.18	27.66	31.58	10.39	0.83	0.00	0.00	0.02	1.86	0.07	2.49	10.80	133.89	626.860	
2003	9.40	20.34	29.16	10.34	0.00	0.01	0.00	0.00	0.14	0.74	8.48	17.90	96.54	342.592	
2004	19.98	59.99	29.45	6.15	0.19	0.00	0.00	0.00	0.00	1.94	2.45	8.40	128.56	581.507	
2005	10.88	47.50	5.37	4.04	0.06	0.00	0.00	0.01	1.22	1.20	3.39	41.92	115.57	477.710	
2006	64.54	39.36	40.11	3.70	0.10	0.00	0.00	0.00	0.13	3.45	0.78	7.04	159.21	863.211	
2007	19.53	92.58	23.45	3.11	0.28	0.01	0.00	0.00	0.17	0.84	0.73	21.30	162.00	891.262	
2008	10.56	53.45	27.81	3.08	2.15	0.00	0.00	0.33	0.26	6.27	0.63	23.72	128.27	579.112	
2009	51.86	19.24	69.61	2.11	0.04	0.00	0.01	0.00	1.36	3.42	17.68	9.15	174.47	1022.157	
2010	5.48	37.29	43.99	12.23	0.19	0.00	0.00	0.00	0.26	13.39	6.72	15.12	134.66	633.479	
2011	18.80	11.19	30.82	8.60	0.02	0.00	0.00	0.00	0.00	1.35	0.45	28.92	100.15	366.673	
2012	1.01	9.65	21.26	2.65	0.00	0.08	0.00	0.00	3.70	4.65	12.77	25.57	81.33	249.638	
2013	8.35	14.40	55.22	4.74	0.12	0.00	0.00	0.02	0.00	0.90	0.45	22.84	107.05	414.638	
2014	12.85	24.49	41.86	12.50	0.03	0.03	0.00	0.00	0.55	1.23	5.55	24.42	123.51	540.005	
2015	21.14	5.01	43.26	24.88	0.70	0.00	0.00	0.00	0.00	4.07	0.49	3.79	103.34	388.484	
2016	56.95	34.35	13.19	7.82	0.00	0.00	0.00	0.00	0.01	4.78	2.36	2.94	122.39	531.031	
2017	17.12	42.40	36.11	15.25	0.63	0.00	0.00	0.00	0.00	0.27	2.88	12.38	127.04	568.926	
2018	10.98	15.47	19.88	4.13	0.00	0.04	0.00	0.00	0.28	1.11	3.33	34.66	89.87	300.204	
2019	32.19	4.99	26.08	14.36	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.13	7.30	34.39	119.44	507.644	
2020	16.59	34.96	34.66	14.74	0.13	0.00	0.00	0.00	1.04	0.00	6.21	14.55	122.90	535.105	
2021	0.39	38.22	60.95	1.14	0.39	0.00	0.00	0.00	0.01	9.08	3.13	20.41	133.72	625.401	
MEDA	28.78	32.78	30.27	7.13	0.63	0.06	0.01	0.14	0.56	4.87	7.35	14.56	127.14	569.685	

Anexo 20: Cálculo anual de IMF y R serie 1973-2021 estación de Cajatambo

ESTACIÓN METEOROLOGICA "CAJATAMBO"															
														UTM	
														ESTE (X) 276789.8	
														NORTE (Y) 8825153.9	
PERIODO: 1965 A 2013				R (MJ*mm/(Ha*h))										ALTITUD(msnm):3025	
AÑO	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SET	OCT	NOV	DIC	F=IMF=SUM(Pi^2/P)	R=0.07397*(IMF)^1.847	
1973	16.54	6.36	45.19	7.32	0.13	0.00	0.00	0.09	0.45	0.99	0.15	9.69	86.91	282.167	
1974	22.42	15.95	24.76	4.30	0.08	0.00	0.00	0.00	0.00	8.30	4.16	7.06	87.02	282.862	
1975	22.30	48.31	80.51	1.56	0.10	0.00	0.00	0.02	0.06	6.14	1.69	0.11	160.81	879.236	
1976	28.52	3.50	13.35	0.03	0.94	0.00	0.00	0.12	0.09	3.94	26.95	9.23	86.66	280.689	
1977	3.26	20.79	46.02	2.45	0.00	0.00	0.00	0.08	0.14	1.06	17.73	63.92	155.45	825.860	
1978	36.75	8.72	13.00	15.14	1.36	0.02	0.00	0.03	6.14	4.17	7.95	5.79	99.06	359.304	
1979	13.53	16.00	60.05	2.40	0.00	0.00	0.00	0.07	3.76	0.51	20.28	27.13	143.73	714.615	
1980	36.95	22.72	93.89	6.58	0.01	0.00	0.00	0.00	0.29	0.44	0.41	3.01	164.28	914.616	
1981	3.36	9.61	10.64	4.23	0.00	0.00	0.00	0.00	1.86	22.19	1.43	44.39	97.70	350.281	
1982	30.05	62.17	35.94	3.95	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.53	0.48	133.11	620.127	
1983	0.85	31.38	73.05	1.23	0.01	0.00	0.00	0.11	0.21	2.44	10.71	9.72	129.69	590.992	
1984	25.89	49.61	31.89	0.45	0.00	0.10	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.13	108.07	422.029	
1985	50.57	30.92	2.14	1.04	2.95	0.00	0.00	0.00	0.00	0.38	4.64	3.62	96.26	340.805	
1986	20.41	4.50	37.48	3.30	0.02	0.00	0.02	0.00	0.07	0.03	0.12	0.14	66.09	170.137	
1987	2.53	25.69	39.34	3.82	0.15	0.00	0.00	0.00	0.00	0.59	0.47	4.92	77.49	228.278	
1988	5.65	0.25	12.42	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	24.62	26.34	4.98	74.26	211.029	
1989	10.64	81.41	86.26	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	1.94	0.69	180.94	1093.222	
1990	3.91	26.33	17.92	0.33	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	5.91	7.73	7.23	69.37	186.084	
1991	22.55	13.13	20.02	0.49	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.50	1.72	58.41	135.443	
1992	24.93	29.99	45.22	8.03	0.02	0.00	0.00	0.00	0.00	6.60	17.64	25.18	157.60	847.140	
1993	21.20	36.37	19.70	0.23	0.00	0.00	0.00	0.00	0.15	0.00	0.00	8.14	85.78	275.438	
1994	0.10	0.00	17.63	16.97	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	1.36	27.10	63.15	156.462	
1995	1.11	80.43	0.42	0.73	0.00	0.00	0.00	0.00	0.06	0.32	4.22	16.83	104.13	393.989	
1996	1.66	1.57	23.32	14.29	0.07	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	5.07	34.67	80.65	245.792	
1997	53.92	59.81	27.40	0.06	0.00	0.24	0.00	0.00	0.05	3.66	2.01	4.07	151.22	784.880	
1998	14.64	4.83	1.35	0.37	0.02	0.63	0.00	0.00	0.07	15.92	4.63	0.01	42.48	75.205	
1999	8.91	9.85	51.55	6.39	0.23	0.00	0.00	0.02	0.26	2.78	1.84	0.58	82.41	255.795	
2000	0.58	0.00	73.39	7.52	0.05	0.00	0.00	0.01	0.18	2.63	0.00	0.00	84.36	267.046	
2001	7.63	23.14	44.66	13.71	0.23	0.00	0.00	0.00	0.00	2.76	17.69	16.87	126.69	566.040	
2002	41.49	60.49	40.61	9.06	0.00	0.00	0.00	0.00	0.13	0.10	0.69	6.99	159.57	866.788	
2003	11.24	5.71	22.82	6.72	0.08	0.00	0.00	0.00	0.02	0.12	4.63	33.61	84.96	270.571	
2004	21.08	28.12	36.73	2.73	0.13	0.00	0.00	0.03	0.00	2.21	0.75	10.38	102.16	380.375	
2005	16.77	40.31	4.42	0.94	0.03	0.00	0.00	0.00	0.36	0.92	5.76	77.96	147.48	749.354	
2006	37.58	45.74	33.28	3.12	0.01	0.01	0.00	0.03	0.05	6.90	0.38	5.08	132.18	612.130	
2007	23.55	76.01	14.51	3.81	2.96	0.26	0.00	0.00	0.36	2.72	2.01	10.15	136.34	648.225	
2008	27.59	43.27	23.65	5.15	0.70	0.00	0.00	0.14	0.23	2.12	1.09	28.29	132.23	612.539	
2009	33.71	15.92	76.43	2.15	0.08	0.00	0.00	0.00	0.26	1.85	16.86	5.37	152.64	798.519	
2010	4.11	18.17	40.87	13.73	0.06	0.07	0.00	0.00	0.36	6.32	6.82	10.40	100.91	371.832	
2011	15.10	20.20	23.67	2.80	0.03	0.00	0.00	0.00	0.00	1.17	0.60	42.54	106.11	407.970	
2012	1.82	41.48	12.78	3.48	0.02	0.00	0.03	0.00	0.99	6.96	9.50	14.72	91.78	312.058	
2013	12.50	10.35	34.59	0.65	0.01	0.00	0.00	0.02	0.00	1.93	0.33	29.44	89.82	299.875	
2014	16.87	35.23	53.68	16.31	0.01	0.03	0.00	0.01	0.06	0.79	4.59	18.03	145.61	731.967	
2015	13.42	10.99	58.19	14.48	1.17	0.00	0.00	0.00	0.00	1.60	2.09	1.07	103.02	386.329	
2016	29.03	42.73	25.30	3.85	0.00	0.00	0.00	0.01	0.01	6.02	1.82	11.18	119.96	511.716	
2017	27.59	39.05	58.27	7.20	0.10	0.00	0.00	0.01	0.01	3.93	6.52	10.40	153.08	802.796	
2018	12.88	17.15	24.32	2.17	0.00	0.00	0.00	0.00	0.51	0.12	5.10	53.40	115.66	478.326	
2019	34.07	10.87	28.26	13.25	0.00	0.00	0.01	0.01	0.03	0.22	8.98	36.58	132.28	612.967	
2020	14.56	35.34	29.59	16.85	0.04	0.00	0.00	0.00	0.63	2.42	7.71	7.35	114.48	469.401	
2021	3.74	40.09	37.15	1.39	0.32	0.00	0.00	0.01	0.00	7.95	18.93	13.36	122.93	535.372	
MEDA	18.16	27.77	35.26	5.24	0.25	0.03	0.00	0.02	0.36	3.52	5.99	15.59	112.18	452.141	

Anexo 21: Cálculo anual de IMF y R serie 1973-2021 estación de Ámbar

ESTACIÓN METEOROLÓGICA "ÁMBAR"														
										UTM		ESTE (X) 276789.8		
												NORTE(Y) 8825153.9		
PERIODO:1973 A 2021				R (MJ*mm/(Ha*h))						ALTTUD(msnm):3025				
AÑO	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SET	OCT	NOV	DIC	F=IMF=SUM(Pi^2/P)	R =0.07397*(IMF)^1.847
1973	2.65	2.77	69.83	0.09	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	3.56	0.42	0.05	79.38	238.698
1974	1.00	0.56	18.13	3.58	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.01	0.00	0.18	23.45	25.109
1975	6.72	56.38	49.07	1.82	0.01	0.00	0.00	0.00	0.06	0.00	0.00	0.04	114.10	466.514
1976	3.69	8.37	23.32	4.24	0.01	0.00	0.00	0.00	0.00	0.09	0.06	0.00	39.78	66.618
1977	0.00	20.68	60.71	2.71	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	19.47	103.57	390.149
1978	41.86	2.42	23.19	0.04	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.04	0.00	0.98	68.54	181.994
1979	0.26	24.61	237.89	0.21	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.02	0.01	0.14	263.14	2183.470
1980	3.13	12.54	253.27	0.58	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.11	0.04	1.24	270.90	2303.920
1981	19.09	0.08	164.40	0.42	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.55	0.00	2.04	186.57	1156.955
1982	11.86	5.22	59.98	0.32	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.02	0.00	0.44	77.84	230.203
1983	24.09	10.07	173.12	0.27	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.01	0.00	0.54	208.11	1415.657
1984	0.88	10.37	19.66	0.27	0.01	0.00	0.00	0.00	0.00	0.41	0.00	18.01	49.61	100.190
1985	0.38	19.84	206.26	0.27	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.19	226.93	1661.086
1986	0.06	20.26	108.95	0.33	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.01	0.00	1.66	131.27	604.334
1987	0.18	1.14	100.32	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.20	0.08	0.01	0.23	102.16	380.386
1988	0.24	1.37	23.26	0.85	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	7.84	1.60	0.00	35.15	53.009
1989	0.00	55.83	112.64	0.48	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	168.96	963.324
1990	0.42	13.67	0.38	1.55	0.03	0.00	0.00	0.00	0.00	0.39	0.23	15.40	32.07	44.745
1991	1.96	23.15	55.33	5.23	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	6.67	92.35	315.656
1992	3.19	17.35	97.21	0.15	0.00	0.00	0.00	0.00	0.06	0.18	0.00	0.07	118.22	498.067
1993	0.00	28.22	155.84	1.02	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.08	185.16	1140.759
1994	3.07	34.16	34.45	3.62	0.00	0.00	0.00	0.39	0.00	0.15	0.00	16.40	92.24	314.981
1995	24.26	12.64	19.54	0.11	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.03	0.00	0.21	56.79	128.575
1996	8.65	1.82	10.04	6.38	0.01	0.00	0.00	0.00	0.00	0.06	0.00	5.80	32.77	46.569
1997	28.72	35.69	98.03	0.45	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.03	0.00	0.00	162.93	900.754
1998	2.19	0.21	47.71	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.03	2.86	1.28	54.28	118.278
1999	2.51	3.00	28.38	0.77	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.50	0.65	3.39	39.20	64.849
2000	0.11	0.75	89.27	0.30	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.07	0.00	0.27	90.77	305.763
2001	0.90	0.65	25.67	8.65	0.49	0.00	0.00	0.00	0.00	0.20	0.02	17.13	53.71	115.986
2002	0.88	9.05	58.50	1.77	0.05	0.00	0.00	0.00	0.01	0.01	0.01	1.36	71.63	197.450
2003	8.66	8.53	18.66	0.92	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	1.88	0.19	0.07	38.91	63.965
2004	7.87	10.98	38.46	1.48	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.01	0.48	59.29	139.222
2005	2.24	7.26	5.30	0.72	0.12	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	4.36	17.87	37.87	60.838
2006	23.88	20.17	61.74	0.17	0.02	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.14	106.12	408.075
2007	3.20	121.49	8.04	5.13	0.37	0.00	0.00	0.00	0.00	0.01	0.09	0.79	139.12	672.821
2008	16.76	35.01	5.76	0.20	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.02	0.01	2.22	59.99	142.268
2009	15.34	20.73	22.14	0.87	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.84	0.45	60.38	144.021
2010	0.08	48.76	13.31	2.13	0.00	0.00	0.00	0.00	0.12	0.09	2.54	0.12	67.14	175.175
2011	2.87	7.34	16.64	0.32	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.05	0.02	12.81	40.05	67.464
2012	0.26	11.62	12.78	1.41	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.25	0.18	8.68	35.18	53.110
2013	8.21	6.78	10.11	0.72	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.03	0.00	3.15	29.00	37.163
2014	6.95	25.07	21.02	2.68	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.32	3.38	59.42	139.820
2015	5.52	3.87	44.33	2.89	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.44	0.01	0.19	57.25	130.516
2016	18.89	15.91	57.11	2.05	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	1.76	0.36	96.09	339.671
2017	23.67	54.83	11.77	2.54	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.01	0.29	0.46	93.58	323.462
2018	0.06	24.13	9.17	2.52	0.01	0.00	0.00	0.00	0.01	0.00	0.27	3.80	39.96	67.197
2019	10.30	4.01	8.23	4.14	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.35	3.76	30.79	41.506
2020	1.49	29.18	20.08	6.81	0.00	0.00	0.00	0.00	0.02	0.28	0.04	1.41	59.30	139.273
2021	1.40	27.55	22.93	0.56	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.04	0.12	0.24	52.84	112.556
MEDA	7.15	18.70	57.80	1.73	0.02	0.00	0.00	0.01	0.01	0.36	0.35	3.54	89.67	298.954

Anexo 22: Cálculo anual de IMF y R serie 1973-2021 estación de Congas

ESTACIÓN METEOROLÓGICA "CONGAS"															
														UTM	ESTE (X) 276789.8
															NORTE (Y) 8825153.9
PERIODO: 1973 A 2021															ALTITUD (msnm): 3025
															R (MJ*mm/(Ha*h))
AÑO	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SET	OCT	NOV	DIC	F=IMF=SUM(Pi^2/P)	R=0.07397*(IMF)^1.847	
1973	9.70	20.01	33.11	1.20	0.00	0.00	0.00	0.00	0.09	0.32	0.36	3.26	68.06	179.659	
1974	12.05	13.41	3.26	0.87	2.46	0.00	0.00	0.00	0.15	27.36	0.00	0.06	59.63	140.700	
1975	4.19	91.14	23.07	10.60	1.15	0.02	0.02	0.01	0.01	1.64	0.52	0.17	132.55	615.296	
1976	1.95	0.54	3.31	0.37	0.48	0.22	0.34	0.79	0.45	33.22	4.32	5.75	51.73	108.216	
1977	4.65	5.24	10.72	0.85	0.94	0.32	0.40	2.93	8.16	13.19	16.58	21.61	85.58	274.274	
1978	17.85	0.77	7.17	43.42	4.73	0.16	0.00	0.10	3.88	4.17	5.87	0.02	88.15	289.679	
1979	17.42	51.22	45.66	1.36	3.53	0.02	0.00	0.00	0.36	0.00	0.01	1.66	121.25	521.905	
1980	5.08	54.20	101.63	4.11	0.18	0.00	0.00	0.00	0.10	0.06	0.60	9.46	175.43	1032.528	
1981	3.83	23.20	36.82	17.94	1.46	0.00	0.00	0.07	0.63	0.72	5.18	5.33	95.18	333.731	
1982	5.21	32.63	32.16	4.98	0.02	0.00	0.09	0.02	0.00	0.20	0.00	0.00	75.30	216.507	
1983	1.50	0.30	113.72	0.88	0.00	0.02	0.00	0.00	0.00	0.00	0.01	0.76	117.18	490.052	
1984	170.70	19.05	7.93	0.14	0.01	0.00	0.00	0.01	0.00	0.00	0.00	0.04	197.87	1289.676	
1985	18.69	40.27	50.22	10.04	0.19	0.37	0.10	0.10	0.00	0.00	0.08	1.60	121.67	525.261	
1986	5.69	15.38	36.51	14.58	0.95	0.49	0.34	0.21	0.19	0.16	0.25	0.75	75.49	217.555	
1987	1.91	14.57	37.73	7.82	1.65	0.39	0.19	0.06	0.33	0.21	3.36	1.39	69.62	187.342	
1988	12.41	10.21	2.02	0.60	0.09	0.32	0.00	0.00	0.00	6.90	11.84	5.90	50.30	102.760	
1989	11.22	31.45	21.25	1.38	0.71	0.02	0.01	0.01	0.01	0.02	0.43	2.38	68.88	183.671	
1990	14.16	3.84	2.63	2.50	1.15	0.48	0.00	0.12	0.58	0.02	0.32	7.42	33.23	47.780	
1991	1.97	15.89	53.69	10.82	5.66	1.72	0.24	0.01	0.04	0.34	0.17	12.87	103.43	389.152	
1992	7.35	22.83	49.84	1.22	2.09	0.01	0.00	0.51	2.46	1.13	0.05	1.18	88.67	292.845	
1993	9.61	87.71	50.85	2.46	0.09	0.00	0.00	0.01	0.02	2.67	0.78	3.23	157.42	845.334	
1994	9.40	8.99	56.10	45.85	1.17	0.03	0.01	0.69	0.38	0.62	0.21	0.26	123.71	541.623	
1995	1.26	17.52	24.02	1.14	0.01	0.04	0.00	0.00	0.00	0.01	0.32	3.95	48.27	95.220	
1996	1.13	21.88	75.34	0.78	0.07	0.23	0.03	0.16	0.02	0.02	0.29	3.22	103.17	387.336	
1997	1.23	31.32	45.76	6.49	0.30	0.04	0.07	0.07	0.56	1.89	0.45	0.08	88.26	290.294	
1998	2.30	0.00	2.54	0.86	0.07	0.00	0.16	0.07	0.27	0.62	64.79	35.84	107.51	417.988	
1999	2.34	36.85	4.73	0.06	0.00	0.04	0.03	0.75	2.29	9.78	2.09	2.32	61.30	148.086	
2000	23.49	65.57	4.41	0.20	0.10	0.16	0.03	0.01	0.09	28.91	0.00	0.40	123.35	538.793	
2001	3.42	21.69	13.47	3.39	5.12	0.06	0.26	0.26	0.01	22.42	12.82	3.10	86.02	276.849	
2002	8.24	53.15	29.09	0.64	0.00	0.03	0.00	0.01	0.03	0.03	0.03	0.38	91.64	311.172	
2003	5.83	2.04	1.12	2.00	0.72	0.07	0.11	0.01	0.02	8.59	0.52	7.52	28.54	36.091	
2004	1.19	19.31	33.83	2.65	3.12	0.31	0.04	0.07	3.19	44.61	0.02	0.12	108.47	424.902	
2005	1.64	12.96	1.43	0.17	0.28	0.00	0.00	0.00	0.00	2.46	3.79	54.42	77.15	226.453	
2006	9.61	9.74	50.92	9.99	0.40	0.14	0.10	0.09	11.44	10.22	5.19	1.00	108.84	427.558	
2007	1.02	41.18	29.92	6.00	0.27	0.00	0.00	0.03	1.54	13.34	5.50	8.30	107.10	415.001	
2008	3.58	39.75	12.62	1.95	0.11	0.01	0.00	0.00	0.08	3.92	0.00	0.16	62.19	152.059	
2009	0.51	12.34	45.81	15.08	4.68	0.07	0.07	0.98	31.91	3.52	7.66	0.67	123.29	538.289	
2010	10.40	1.24	17.95	0.51	0.00	0.00	0.08	0.00	0.02	0.70	6.03	18.19	55.12	121.701	
2011	1.91	10.29	43.65	15.13	1.23	0.23	0.02	0.02	0.00	0.07	0.00	2.92	75.47	217.418	
2012	10.26	10.12	13.03	0.60	0.50	0.03	0.01	0.23	3.91	0.13	24.78	14.14	77.74	229.655	
2013	2.10	10.54	2.72	0.81	0.03	0.00	0.00	0.02	0.32	0.00	4.89	27.67	49.12	98.347	
2014	1.13	19.09	28.53	0.72	0.46	0.18	0.06	0.23	0.33	0.27	1.72	13.57	66.30	171.142	
2015	1.06	22.44	74.94	1.05	0.24	0.01	0.00	0.00	0.00	1.33	13.86	3.70	118.63	501.277	
2016	0.88	25.54	51.56	2.76	1.75	0.00	0.00	0.00	0.00	1.64	18.06	0.95	103.14	387.129	
2017	0.80	33.90	93.06	14.39	2.57	0.00	0.01	0.00	0.02	27.69	0.70	1.54	174.69	1024.497	
2018	11.79	14.27	44.06	0.27	0.06	0.05	0.00	0.00	0.00	0.08	0.01	0.59	71.19	195.211	
2019	8.69	10.24	4.04	8.65	3.81	0.07	0.20	0.05	0.02	0.34	0.40	4.04	40.55	69.039	
2020	1.43	31.02	32.88	2.33	0.54	0.01	0.00	0.00	0.00	0.03	4.90	15.85	88.98	294.743	
2021	2.21	10.49	47.59	4.91	1.65	0.01	0.01	0.07	0.29	1.93	4.32	19.16	92.63	317.455	
MEDA	9.51	23.42	32.82	5.87	1.16	0.13	0.06	0.18	1.51	5.66	4.78	6.71	91.82	312.297	

Anexo 23: Cálculo anual de IMF y R serie 1973-2021 estación de Ocros

ESTACIÓN METEOROLÓGICA "OCROS"															
											UTM		ESIE (X) 236956.5		
													NORTE (Y) 8848859.6		
PERIODO: 1973 A 2021			R (MJ*mm/(Ha*h))											ALTIUD(msnm): 3249	
AÑO	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SET	OCT	NOV	DIC	F=IMF=SUM(Pi^2/P)	R=0.07397*(IMF)^1.847	
1973	1.41	1.13	0.51	0.00	0.35	0.00	0.35	8.76	14.35	0.00	0.35	0.35	27.54	33.778	
1974	0.22	0.22	0.59	7.48	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	4.94	13.44	8.982	
1975	8.17	62.80	6.60	4.83	0.65	0.00	0.08	0.00	0.01	3.87	0.00	0.17	87.18	283.801	
1976	6.72	5.00	38.62	1.14	1.17	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	52.65	111.828	
1977	0.03	2.69	8.01	1.01	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	150.41	162.16	892.920	
1978	48.92	0.10	161.63	0.07	0.01	0.00	0.00	0.00	0.00	0.06	0.08	0.03	210.90	1450.820	
1979	1.44	10.97	34.61	2.15	0.02	0.00	0.00	0.00	0.00	0.29	0.12	2.87	52.47	111.099	
1980	9.25	16.91	92.52	0.77	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.07	0.48	6.57	126.58	565.098	
1981	39.07	2.95	18.05	1.04	0.17	0.00	0.01	0.01	0.16	0.53	0.03	6.31	68.34	180.985	
1982	12.96	48.05	1.54	0.15	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.06	0.00	0.10	62.86	155.117	
1983	13.22	12.26	79.85	0.05	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.07	0.18	0.54	106.18	408.475	
1984	22.69	28.26	7.56	0.34	0.00	0.24	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	1.68	60.78	145.759	
1985	4.50	77.90	16.09	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.36	98.85	357.881	
1986	0.03	9.93	25.32	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.01	0.00	0.66	35.96	55.292	
1987	0.08	0.90	66.36	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	2.83	0.00	0.69	70.86	193.536	
1988	13.16	0.73	2.15	0.10	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	16.37	1.33	0.00	33.83	49.402	
1989	3.25	40.21	4.93	1.31	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	4.93	4.53	1.82	60.97	146.626	
1990	11.71	6.26	0.96	1.72	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	1.88	1.40	6.23	30.16	39.959	
1991	2.75	6.98	106.63	12.31	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.95	6.22	135.84	643.840	
1992	8.35	98.53	23.00	0.38	0.03	0.00	0.00	0.00	0.00	0.99	0.00	0.82	132.11	611.496	
1993	0.00	36.01	21.84	0.34	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	2.18	60.37	143.941	
1994	23.80	17.11	10.45	3.15	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.45	54.97	121.069	
1995	32.13	14.85	5.95	0.02	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.16	2.92	56.04	125.459	
1996	13.06	6.49	7.37	3.98	2.19	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	2.04	35.13	52.959	
1997	26.01	67.92	18.41	0.21	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.01	0.00	0.00	112.56	454.925	
1998	4.28	0.64	17.65	0.00	0.36	0.00	0.00	0.00	0.00	0.27	6.74	3.71	33.65	48.910	
1999	1.42	2.34	35.68	1.31	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	5.22	1.03	0.15	47.14	91.171	
2000	1.42	2.17	12.80	0.30	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	1.13	0.00	7.83	25.65	29.625	
2001	2.70	2.39	78.22	5.54	0.00	0.00	0.00	0.04	0.00	0.52	0.79	3.17	93.37	322.123	
2002	8.77	11.56	16.60	0.90	0.19	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.27	6.16	44.45	81.785	
2003	9.26	9.26	4.54	0.52	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	1.34	3.03	27.94	34.688	
2004	19.18	20.77	39.46	2.51	0.17	0.00	0.00	0.00	0.00	0.07	0.00	0.18	82.35	255.422	
2005	2.60	20.53	0.34	0.54	0.28	0.00	0.00	0.00	0.42	0.65	4.32	63.36	93.04	320.031	
2006	53.17	44.58	68.97	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.15	0.02	0.03	0.38	167.31	946.002	
2007	2.92	129.55	8.74	6.89	0.86	0.00	0.00	0.00	0.15	0.73	0.03	0.99	150.87	781.526	
2008	12.92	24.89	7.38	2.78	0.37	0.00	0.00	0.00	0.01	0.97	0.17	7.84	57.33	130.860	
2009	22.99	41.70	30.08	2.85	0.00	0.00	0.00	0.00	0.05	0.10	1.15	0.16	99.08	359.460	
2010	1.23	15.99	18.18	5.07	0.00	0.00	0.00	0.00	0.36	1.65	2.01	1.63	46.13	87.593	
2011	9.58	6.27	26.68	0.80	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.06	0.04	12.95	56.38	126.864	
2012	2.29	56.56	6.82	0.26	0.02	0.00	0.00	0.00	0.02	0.33	0.22	6.89	73.43	206.669	
2013	5.83	1.07	6.87	5.38	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.12	8.20	27.46	33.610	
2014	11.71	8.48	34.18	4.89	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.22	0.18	4.72	64.37	162.063	
2015	9.66	3.92	53.14	4.33	0.09	0.00	0.00	0.00	0.00	0.18	0.05	0.07	71.44	196.469	
2016	9.73	15.82	56.75	1.08	0.00	0.01	0.00	0.00	0.00	0.02	3.41	0.30	87.12	283.410	
2017	28.36	59.25	27.89	4.28	0.02	0.00	0.00	0.00	0.00	0.33	0.12	1.16	121.42	523.284	
2018	7.16	5.62	9.26	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	24.86	46.91	90.330	
2019	16.43	6.98	6.01	4.64	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	1.19	8.88	44.12	80.680	
2020	1.23	33.31	38.57	7.39	0.00	0.00	0.00	0.00	0.08	2.41	0.52	2.13	85.64	274.618	
2021	0.50	59.31	62.37	0.03	0.02	0.00	0.00	0.00	0.00	0.78	0.04	0.36	123.42	539.309	
MEDA	11.19	23.64	29.12	2.14	0.14	0.01	0.01	0.18	0.32	0.97	0.68	7.50	75.89	219.677	

Anexo 25: Cálculo promedio anual de R serie 1973-2021 de todas las estaciones
(promedio mensual)

VALORES MEDIOS MENSUALES DE PRECIPITACIÓN Y CON LOS CÁLCULOS DE INDICE MODIFICADO FOURNIER Y EL FACTOR R (MI*mm)/(Ha*h*año) EN EL PERIODO 1973-2021																
CRITERIO B																
														(MI*mm)/(ha*h*año)		
		ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SET	OCT	NOV	DIC	Preci prom anual(mm)	F=IMF=SUM(Pi^2/Pt)	R=0.07397*(IMF)^1.847
GORGOR	Pi media	115.56	150.82	164.91	52.62	6.50	1.42	0.00	0.36	2.95	29.56	45.75	70.44	640.89	115.54	477.427
	Pi/2Pt	20.84	35.49	42.43	4.32	0.07	0.00	0.00	0.00	0.01	1.36	3.27	7.74			
ACO	Pi media	27.42	37.00	57.40	8.16	0.71	0.03	0.33	0.57	1.96	7.45	4.80	12.53	158.36	36.14	55.791
	Pi/2Pt	4.75	8.64	20.80	0.42	0.00	0.00	0.00	0.00	0.02	0.35	0.15	0.99			
CHIQUIAN	Pi media	125.28	142.35	137.67	62.95	12.87	2.67	1.02	4.29	13.48	43.71	56.17	88.19	690.63	104.38	395.791
	Pi/2Pt	22.72	29.34	27.44	5.74	0.24	0.01	0.00	0.03	0.26	2.77	4.57	11.26			
CAJATAMBO	Pi media	95.41	118.16	135.65	48.09	7.10	1.39	0.39	1.87	9.09	35.50	50.46	82.52	585.62	93.12	320.540
	Pi/2Pt	15.54	23.84	31.42	3.95	0.09	0.00	0.00	0.01	0.14	2.15	4.35	11.63			
AMBAR	Pi media	34.26	62.81	113.82	17.28	0.89	0.00	0.00	0.26	0.65	4.69	4.79	20.68	260.12	72.45	201.629
	Pi/2Pt	4.51	15.17	49.80	1.15	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.08	0.09	1.64			
CONGAS	Pi media	51.49	94.70	113.22	43.54	19.08	5.46	3.70	6.04	16.22	35.81	32.99	42.05	464.30	67.15	175.253
	Pi/2Pt	5.71	19.32	27.61	4.08	0.78	0.06	0.03	0.08	0.57	2.76	2.34	3.81			
OCROS	Pi media	48.17	70.39	79.61	19.16	3.01	0.22	0.31	0.83	2.24	9.42	8.67	29.14	271.17	55.35	122.611
	Pi/2Pt	8.56	18.27	23.37	1.35	0.03	0.00	0.00	0.00	0.02	0.33	0.28	3.13			