

**UNIVERSIDAD NACIONAL DE TUMBES**

**FACULTAD DE CIENCIAS AGRARIAS**



**“Aplicación del método RUSLE mediante SIG, para calcular la sedimentación por erosión hídrica en la cuenca Casitas-Bocapán, Tumbes, 2023.”**

**TESIS**

**Para optar el título profesional de Ingeniero Agrícola**

**Presentado por:**

**Br. Jeison Cleyder Zapata Alaya**

**TUMBES - PERÚ**

**2023**

# UNIVERSIDAD NACIONAL DE TUMBES

## FACULTAD DE CIENCIAS AGRARIAS



**“Aplicación del método RUSLE mediante SIG, para calcular la sedimentación por erosión hídrica en la cuenca Casitas-Bocapán, Tumbes, 2023.”**

**Tesis aprobada en forma y estilo por:**

**Dr. José Modesto Carrillo Sarango (presidente)**

Código ORCID: 0000-0003-0841-3064

**Dr. Eber Gines Tafur (secretario)**

Código ORCID: 0000-0003-0366-4438

**Dr. Enrique Antonio Maceda Nicolini (vocal)**

Código ORCID: 0000-0002-2275-9937

**TUMBES - PERÚ**

**2023**

# UNIVERSIDAD NACIONAL DE TUMBES

## FACULTAD DE CIENCIAS AGRARIAS



**“Aplicación del método RUSLE mediante SIG, para calcular la sedimentación por erosión hídrica en la cuenca Casitas-Bocapán, Tumbes, 2023.”**

**Los suscritos declaramos que la tesis es original en su contenido y forma:**

**Autor: Br. Jeison Cleyder Zapata Alaya**

**Asesor: Dr. Enrique Antonio Maceda Nicolini**

**Co-Asesor: Ing. Henry Fernando More Medrano**

**TUMBES - PERÚ**

**2023**



**UNIVERSIDAD NACIONAL DE TUMBES  
FACULTAD DE CIENCIAS AGRARIAS  
EX FUNDO FISCAL LA CRUZ-CAMPUS UNIVERSITARIO  
SECRETARIA ACADÉMICA**



"Año del Bicentenario, de la consolidación de nuestra Independencia, y de la conmemoración de las heroicas batallas de Junín y Ayacucho"

**ACTA DE SUSTENTACIÓN DE TESIS PRESENCIAL**

En Tumbes, a los diecinueve días del mes de junio del dos mil veinticuatro, siendo las *cañore* horas con *00* minutos (*00*), en el ambiente del aula virtual 2, de la Facultad Ciencias Agrarias, se reunieron el Jurado Calificador, designado por Resolución N° 079-2023/UNTUMBES-VRACAD-FCA-D, **Dr. José Modesto Carrillo Sarango** (presidente), **Dr. Eber Gines Tafur**, (Secretario), **Dr. Enrique Antonio Maceda Nicolini** (Vocal), reconociendo en la misma resolución además, al **Dr. Enrique Antonio Maceda Nicolini** (Asesor), se procedió a evaluar, calificar y deliberar la sustentación de la tesis, titulada: **titulado: "Aplicación del método RUSLE mediante SIG, para calcular la sedimentación por erosión hídrica en la cuenca Casitas – Bocapan, Tumbes-2022"**, para optar el Título Profesional de Ingeniero Agrícola, presentado por el **Bach. Jeison Cleyder Zapata Alaya**, Concluida la sustentación y absueltas las preguntas, por parte del sustentante y después de la deliberación, el jurado según el artículo N° 65 del Reglamento de Tesis para Pregrado y Posgrado de la Universidad Nacional de Tumbes, declara al: **Bach. JEISON CLEYDER ZAPATA ALAYA**, *Aprobado* por *Unanimidad*, con el calificativo *Sobresaliente*,

Se hace conocer al sustentante, que deberá levantar las observaciones finales hechas al informe final de tesis, que el jurado le indica, de ser el caso.

En consecuencia, queda *apto* para continuar con los trámites correspondientes a la obtención del título profesional de Ingeniero Agrícola, de conformidad con lo estipulado en la Ley Universitaria N° 30220, el Estatuto, Reglamento General, Reglamento General de Grados y Títulos y Reglamento de Tesis de la Universidad Nacional de Tumbes.

Siendo las *once* horas y *treinta* minutos del mismo día, se dio por concluida la ceremonia académica, procediendo a firmar el acta en presencia del público asistente.

Tumbes, *19 de Junio del 2024*

DR. <b>José Modesto Carrillo Sarango</b> DNI N° 00223850 CODIGO ORCID N° 0000-0003-0841-3064 Presidente	Dr. <b>Eber Gines Tafur</b> DNI N° 17542075 CODIGO ORCID N°0000-0003-0366-4438 Secretario
DR. <b>ENRIQUE ANTONIO MACEDA NICOLINI</b> DNI N° 27750975 CODIGO ORCID N°0000-0002-2275-9937 Vocal	

C.C. - JURADOS (03) -ASESOR Y(CO)-INTERESADO-ARCHIVO (Decanato)  
s.acad.

## DEDICATORIA

**A Dios**, por permitirme estar con vida y darme el conocimiento necesario para poder realizar esta investigación.

**A mis padres**, los incondicionales Yenny y Frankli, que día a día me dieron impulso para lograr cada objetivo.

**A mi hijo Bastian Leandro**, él que es el motivo de superación de cada día.

**A todos los docentes**, que durante mi etapa universitaria supieron impartir y hacer llegar sus conocimientos hacia mi persona.

## **AGRADECIMIENTO**

**A Dios**, por la vida y el conocimiento.

**A mis padres**, por cada enseñanza y el empuje que día a día me dieron.

**A mi hijo Bastian Leandro**, por alegrar mi vida e impulsarme a querer ser cada día mejor.

**A mi Asesor**, Dr. Enrique Antonio Maceda Nicolini y **Co-asesor** Ing. Henry Fernando More Medrano por guiarme en este proyecto.

# TESIS\_JEISON\_ZAPATA-FINAL.pdf

## INFORME DE ORIGINALIDAD

6%

INDICE DE SIMILITUD

6%

FUENTES DE INTERNET

1%

PUBLICACIONES

1%

TRABAJOS DEL ESTUDIANTE

## FUENTES PRIMARIAS

1

[hdl.handle.net](https://hdl.handle.net)

Fuente de Internet

2%

2

[repositorio.untumbes.edu.pe](https://repositorio.untumbes.edu.pe)

Fuente de Internet

1%

3

[www.iaea.org](http://www.iaea.org)

Fuente de Internet

<1%

4

[repositorio.ug.edu.ec](https://repositorio.ug.edu.ec)

Fuente de Internet

<1%

5

[www.redalyc.org](http://www.redalyc.org)

Fuente de Internet

<1%

6

[idoc.pub](http://idoc.pub)

Fuente de Internet

<1%

7

Submitted to Corporación Universitaria  
Minuto de Dios, UNIMINUTO

Trabajo del estudiante

<1%

8

Submitted to Universidad Continental

Trabajo del estudiante

<1%

9

[repositorio.utea.edu.pe](https://repositorio.utea.edu.pe)

Fuente de Internet

<1 %

---

10 repositorio.unap.edu.pe  
Fuente de Internet

<1 %

---

11 repositorio.unal.edu.co  
Fuente de Internet

<1 %

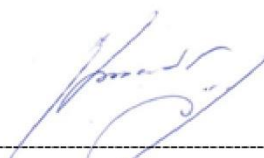
---

---

Excluir citas Activo

Excluir coincidencias < 15 words

Excluir bibliografía Activo



---

Dr. Enrique Antonio Maceda Nicolini  
Asesor



## ÍNDICE GENERAL

RESUMEN.....	13
ABSTRACT .....	14
CAPITULO I.....	15
1. INTRODUCCION.....	15
CAPITULO II .....	16
2. ESTADO DEL ARTE (Revisión de la literatura) .....	16
2.1. ANTECEDENTES .....	16
2.2. MARCO TEÓRICO.....	18
2.2.1. EROSIÓN.....	18
2.2.2. TIPOS DE EROSIÓN:.....	18
2.2.3. FORMAS DE LA EROSIÓN:.....	19
2.2.4. FACTORES QUE INFLUYEN EN LA PÉRDIDA DE SUELO .....	20
2.2.5. ESTIMACIÓN DE LA EROSIÓN HÍDRICA.....	21
2.2.6. SISTEMAS DE INFORMACIÓN GEOGRÁFICA .....	31
CAPITULO III.....	32
3. MATERIALES Y METODOS .....	32
3.1. UBICACIÓN.....	32
3.1.1. UBICACIÓN POLÍTICA .....	32
3.1.2. UBICACIÓN ADMINISTRATIVA.....	32
3.1.3. UBICACIÓN GEODÉSICA.....	32
3.2. MATERIALES Y EQUIPOS .....	34
3.2.1. MATERIALES .....	34
3.2.2. EQUIPOS.....	35
3.2.3. SOFTWARE.....	35
3.3. METODOLOGIA .....	36

3.3.1.	FLUJOGRAMA DE LAS VARIABLES DE LA ECUACIÓN RUSLE .....	36
3.3.2.	OBTENCION DE LA INFORMACION BASICA A UTILIZAR .....	37
3.3.3.	PROCESAMIENTO DE LOS FACTORES DEL METODO “RUSLE” .....	41
CAPITULO IV.....		49
4.	RESULTADOS Y DISCUSION.....	49
4.1.	RESULTADOS .....	49
4.1.1.	FACTOR DE EROSIVIDAD DE LA LLUVIA – “R” .....	49
4.1.2.	FACTOR DE ERODABILIDAD DEL SUELO – “K” .....	51
4.1.3.	FACTOR TOPOLOGICO – “LS” .....	52
4.1.4.	FACTOR DE COBERTURA VEGETAL – “C” .....	55
4.1.5.	FACTOR DE PRÁCTICAS DE CONSERVACIÓN DEL SUELO – “P” .....	60
4.1.6.	EROSIÓN HÍDRICA .....	61
4.2.	DISCUSIÓN .....	63
CAPITULO V .....		66
5.	CONCLUSIONES .....	66
CAPITULO VI.....		67
6.	RECOMENDACIONES.....	67
CAPITULO VII .....		68
7.	REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	68
CAPITULO VIII.....		70
8.	ANEXOS.....	70

## ÍNDICE DE TABLAS

<b>Tabla 1:</b> Valores promedio de aporte de sedimentos para cuencas según su tamaño. -----	22
<b>Tabla 2:</b> Valores de "n" en función de la pendiente -----	27
<b>Tabla 3:</b> Valores del factor de cobertura vegetal -----	29
<b>Tabla 4:</b> Potencial de erosión del suelo. -----	30
<b>Tabla 5:</b> Grados de erosión del suelo-----	30
<b>Tabla 6:</b> Ubicación política de la cuenca Casitas - Bocapán-----	32
<b>Tabla 7:</b> Ubicación administrativa de cuenca Casitas - Bocapán -----	32
<b>Tabla 8:</b> Coordenadas geodésicas de la cuenca Casitas - Bocapán -----	32
<b>Tabla 9:</b> Información de estaciones utilizadas en la investigación-----	37
<b>Tabla 10:</b> Lista de imágenes satelitales utilizadas en la investigación -----	44
<b>Tabla 11:</b> Comportamiento del NDVI periodo 2013 - 2022 -----	45
<b>Tabla 12:</b> Factor de erosividad promedio y acumulado de cada estación-----	49
<b>Tabla 13:</b> Rangos de cada clasificación textural.-----	51
<b>Tabla 14:</b> Rangos de erodabilidad presentes en el área de la cuenca Casitas Bocapán -----	51
<b>Tabla 15:</b> Clasificación de los rangos de erodabilidad del suelo -----	52
<b>Tabla 16:</b> Clasificación de gradiente de pendientes-----	52
<b>Tabla 17:</b> Clasificación de gradiente de pendientes en la cuenca Casitas - Bocapán -----	53
<b>Tabla 18:</b> Rangos de clasificación del NDVI-----	55
<b>Tabla 19:</b> Clasificación del NDVI periodo 2013 - 2018 -----	56
<b>Tabla 20:</b> Rangos de valores de C periodo 2013 - 2022-----	58
<b>Tabla 21:</b> Rangos de erosión hídrica actual en la cuenca Casitas Bocapán.-----	61
<b>Tabla 22:</b> Rangos de erosión hídrica potencial en la cuenca Casitas Bocapán --	62

## ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

Ilustración 1: Comparación entre datos ráster y vectoriales-----	31
Ilustración 2: Mapa de ubicación de la cuenca Casitas Bocapán -----	33
Ilustración 3: Flujograma de las variables que conforman la ecuación RUSLE --	36
Ilustración 4: Periodos de registro de data en las estaciones utilizadas-----	38
Ilustración 5: Ejemplo de serie histórica de caudales de promedio anuales ----	39
Ilustración 6: Ejemplo de análisis de doble masa para determinar estación bas	40
Ilustración 7: Distribución del factor R en la cuenca Casitas - Bocapán -----	41
Ilustración 8: Distribución del factor K en la cuenca Casitas Bocapán -----	42
Ilustración 9: Distribución del factor LS en la cuenca Casitas Bocapán-----	43
Ilustración 10: Distribución del factor C en la cuenca Casitas Bocapán -----	45
Ilustración 11: Distribución del factor P en la cuenca Casitas Bocapán -----	46
Ilustración 12: Distribución de la erosión hídrica actual de la cuenca Casitas Bocapán -----	47
Ilustración 13: Distribución de la erosión hídrica potencial de la cuenca Casitas Bocapán -----	48
Ilustración 14: Gráfico del factor R promedio anual en las diferentes estaciones del estudio -----	50
Ilustración 15: Gráfico de relación entre el factor R y la precipitación -----	50
Ilustración 16: Mapa de clasificación de gradiente de pendientes-----	54
Ilustración 17: Gráfico de valores de NDVI periodo 2013 - 2017 -----	56
Ilustración 18:Gráfico de valores de NDVI periodo 2018 – 2022 -----	57
Ilustración 19: Gráfico de valores del factor C periodo 2013 - 2022. -----	60
Ilustración 20: Gráfico de rangos de erosión hídrica actual-----	62
Ilustración 21: Gráfico de rangos de erosión hídrica potencial-----	62

## RESUMEN

El presente estudio de investigación tuvo lugar en la Cuenca Casitas – Bocapán que abarca un área aproximada de 901.00 km<sup>2</sup> y se encuentra ubicada entre los distritos de Zorritos (35 %) y Casitas (65 %), esta forma parte del sistema hidrográfico de la región de Tumbes. El objeto de la investigación fue aplicar la metodología RUSLE mediante SIG, para calcular la sedimentación por erosión hídrica en dicha cuenca, este método se ha utilizado en varios estudios por ser muy práctico además de involucrar 6 factores que le brindan mayor consistencia a los resultados.

El factor “R” se determinó a través de una data histórica de precipitación acumulada mensual de 9 estaciones pluviométricas estratégicamente ubicadas; el factor “K” se obtuvo con datos ráster de contenido de Arena, Arcilla, Limo y MO descargados desde la página de SoilGrids; el factor “LS” se calculó a partir de un modelo de elevación digital (DEM) extraído desde la página del MINAM, para encontrar el factor “C” se descargaron imágenes satelitales Landsat 8 y como último factor se tiene a “P” al cual solo se le asignó el valor de 1 ya que no existen prácticas de control en la cuenca de estudio.

Los resultados obtenidos muestran valores de erosión hídrica potencial (no se toma en cuenta la cobertura vegetal del suelo) con un pico máximo de 1607.03 Tn.ha.año y se representa en el EHP-01, por otro lado la erosión hídrica actual en la que ya se integra a la cobertura vegetal del suelo nos brinda valores máximos de 675.897 Tn.ha.año y su distribución espacial se puede observar en el mapa EHA-01.

**Palabras clave:** Cuenca, RUSLE, SIG (sistemas de información geográfica), sedimentación, erosión hídrica.

## ABSTRACT

The present research study took place in the Casitas - Bocapán watershed, which covers an approximate area of 901.00 km<sup>2</sup> and is located between the districts of Zorritos (35%) and Casitas (65%); it is part of the hydrographic system of the Tumbes region. The purpose of the research was to apply the RUSLE methodology using GIS to calculate sedimentation due to water erosion in this basin. This method has been used in several studies because it is very practical and involves 6 factors that provide greater consistency to the results.

The "R" factor was determined through historical monthly accumulated precipitation data from 9 strategically located pluviometric stations; the "K" factor was obtained with raster data of Sand, Clay, Silt and MO content downloaded from the SoilGrids website; The "LS" factor was calculated from a digital elevation model (DEM) extracted from the MINAM web page; to find the "C" factor, Landsat 8 satellite images were downloaded; and the last factor was "P", which was only assigned a value of 1 since there are no control practices in the study watershed.

The results obtained show values of potential water erosion (not taking into account the vegetation cover of the soil) with a maximum peak of 1607.03 Tn.ha.yr. and is represented in the EHP-01, on the other hand the current water erosion in which the vegetation cover of the soil is already integrated gives us maximum values of 675.897 Tn.ha.yr. and its spatial distribution can be observed in the EHA-01 map.

Key words: Watershed, RUSLE, GIS (geographic information systems), sedimentation, water erosion.

# CAPITULO I

## 1. INTRODUCCIÓN

El suelo es el recurso natural esencial para sostener la vida en el planeta, en él se desarrolla gran parte de la diversidad biológica global. Este recurso no solo sirve como sostén para mantener la vida de las personas y la fauna, aún más importante es indispensable para el desarrollo de la agricultura que es uno de los pilares de la economía a nivel mundial. Sin embargo, en la actualidad afrontamos un grave problema como es la degradación de los suelos principalmente por la erosión hídrica.

Los agentes principales que ocasionan la erosión del suelo son las precipitaciones (lluvia), el viento y la acción del hombre. Para mitigar y reducir la pérdida del recurso suelo son necesarios estudios que nos ayuden a dar un adecuado uso del mismo observando sus características correspondientes, y estableciendo medidas de control ante este fenómeno como estructuras de protección y demás.

El presente estudio se desarrolló en la cuenca Casitas – Bocapán que tiene un área de 901.00 Km<sup>2</sup> aproximadamente, esta se encuentra ubicada entre los distritos de Zorritos (35%) y Casitas (65%) (Snirh ANA, 2023), dicha cuenca forma parte del sistema hidrográfico de la región de Tumbes, posee una topografía bastante accidentada y solo produce escurrimiento de agua en épocas lluviosas entre los meses de enero a marzo.

La cuenca Casitas-Bocapán forma parte del sistema hidrográfico de la región Tumbes, en ella se han establecido áreas agrícolas que explotan el recurso hídrico subterráneo principalmente. Existen evidencias de activación de la quebrada por fenómenos son extraordinarios como el niño, donde se produce gran escorrentía superficial y por ende gran arrastre de sedimentos debido a la erosión por acción del agua. Es por ello que se buscará cuantificar y con ello caracterizar la producción de sedimentos de la cuenca Casitas - Bocapán para con esto plantear estrategias de prevención y protección ante estas ocurrencias extremas.

## CAPITULO II

### 2. ESTADO DEL ARTE (Revisión de la literatura)

#### 2.1. ANTECEDENTES

##### Internacionales

La agricultura intensiva y la deforestación son causas importantes de la degradación de la tierra, ya que la erosión del suelo y grandes áreas están expuestas a la pérdida de suelo fértil. Esto, junto con la pérdida de nutrientes y productos químicos relacionados en los cuerpos de agua, representa una grave amenaza para la producción agrícola sostenible, la protección del medio ambiente y la seguridad alimentaria en muchas regiones del mundo. (OIEA, 2020).

(Nájera et all., 2016) Describe que en México se calcula que el 80 % del país está afectado por la erosión de los suelos, fuentes oficiales reportan que 22,73 millones de hectáreas del país presentan erosión hídrica; de estas 56,4 % se considera ligera; el 39 % moderada, el 3,7 % fuerte y el 0,2 % extrema.

##### Nacional

El Perú es un país con la peculiar característica de tener suelos altamente erosionables, esto ya que su territorio se compone de montañas, desiertos y bosques tropicales. Los andes peruanos compuestos por grandes cadenas de montañas hacen que predominen las altas pendientes sumado a la presencia de intensas precipitaciones provocan que haya un alto riesgo de erosión hídrica.

Un estudio de batimetría realizado en el año 2014 en el reservorio de Poechos en la región Piura, reveló que dicha presa enfrenta graves problemas de sedimentación debido que ha soportado varios fenómenos extraordinarios de lluvias. El embalse de Poechos en su inicio se diseñó para un volumen útil de 885 MMC, pero para el año 2014 solo almacenaba un volumen de 405.52 MMC, lo que quiere decir que los sedimentos ocupan 479.48 MMC.



## **Local**

Según (Goyburo, 2017) concluye que la sedimentación total en su campaña de muestreo para la cuenca Puyango-Tumbes en la estación El Tigre es de 2.79 millones de toneladas, a razón de ello explica que el 99% de esta cifra corresponde al transporte de sólidos en suspensión, y solo el 1% corresponde al transporte de sólidos de fondo. Con estos resultados se verifica un incremento de volumen de sedimentación con respecto a lo calculado en el 2014 debido a la presencia del fenómeno El Niño.

“El puente Francos lamentablemente está destinado a colapsar si es que las lluvias continúan, anunció el jefe regional del Instituto Nacional de Defensa Civil, Manuel Boggio Luna. La sedimentación que hoy presenta el puente en cuestión, debió ser retirada por la empresa contratista de la Defensa Ribereña, sin embargo, esto no se ha realizado, es por ello los problemas que hoy se presentan.” (Fernández, 2015)

## 2.2. MARCO TEÓRICO

### 2.2.1. EROSIÓN

Si hablamos en términos generales podríamos definir a la erosión como el desgaste de un cuerpo por el rozamiento de algún otro. Adentrándonos al término erosión con relación al suelo, definiríamos a este proceso como el desgaste o remoción de la superficie del suelo por acción de algún agente erosivo, principalmente puede ser el agua, el viento o el hombre.

En este fenómeno natural podemos identificar tres principales etapas que son:

- La erosión o desagregación que es la fase en donde se produce el choque entre agente erosionador y la capa superficial del suelo provocando el desgaste del mismo.
- La segunda fase es el transporte que no es más que el desplazamiento de los materiales del suelo desprendidos por la primera fase.
- Y la última fase se refiere a la acumulación (sedimentación) o el depósito del material erosionado.

### 2.2.2. TIPOS DE EROSIÓN:

Según (SENAMHI, 2017) distingue los siguientes tipos de erosión:

- **Erosión geológica:** Es causada solo por fuerzas naturales y por lo general su ocurrencia es baja.
- **Erosión acelerada:** Aquí es donde entra la acción humana, efectos de los factores naturales. Este tipo de erosión es causado por un manejo inadecuado del suelo.

### **2.2.3. FORMAS DE LA EROSIÓN:**

#### **➤ Erosión por salpicaduras**

La salpicadura del suelo ocurre cuando las gotas de lluvia caen directamente sobre partículas muy finas del suelo o superficies de agua, salpicando grandes cantidades de suelo debido a la energía cinética del impacto.

#### **➤ Erosión laminar**

Este tipo de proceso se encarga de remover el suelo en capas finas a consecuencia de la escorrentía superficial que pasa por el terreno.

El efecto de las gotas de precipitación junto a la escorrentía superficial da origen a canalillos microscópicos. Con relación a la energía, es crucial la erosión causada por las gotas de lluvia ya que la velocidad del flujo superficiales mucho menor y van desde los 0.3 m a 0.6 m/s. Las gotas de lluvia provocan el aflojamiento de las partículas del suelo y la adición de sedimentos llena los poros de la capa superficial, lo que baja el nivel de infiltración. La fuerza abrasiva y la fuerza de arrastre del flujo laminar está sujeta a la profundidad y la tasa de drenaje de las partículas o agregados del suelo de un tamaño, forma y densidad dados. (Rivera et al., 2012)

#### **➤ Erosión por surcos**

Cuando la escorrentía superficial se reúne, esta desprende el suelo creando pequeños canales bien delimitados que se vuelven estables y claramente visibles. En este tipo de erosión la velocidad de escurrimiento es alta lo que ocasiona que el desprendimiento y transporte de suelo sea grave, además el esfuerzo cortante aumenta dependiendo de la pendiente y el radio hidráulico de la sección. (Rojas et al. 2017)

➤ **Erosión por cárcavas**

Este tipo de erosión forja cauces de mayor tamaño, se puede decir que esta es una etapa más avanzada de la erosión por surcos ya que genera mayores desprendimientos de sedimento y es difícil borrar los estragos que ocasiona. (Rojas et al. 2017)

#### **2.2.4. FACTORES QUE INFLUYEN EN LA PÉRDIDA DE SUELO**

Según (Vásquez et al., 2016) se identifican los siguientes factores que influyen en la erosión del suelo:

➤ **El suelo**

Las propiedades del suelo establecen la resistencia de sus partículas frente al desprendimiento y transporte causado por el impacto del agua sobre él.

➤ **La topografía**

La pendiente y la longitud de la ladera son las características topográficas que más influyen en el proceso de la erosión, así como también la forma y el área de drenaje.

➤ **El clima**

El clima juega un papel muy importante en el proceso de la erosión hídrica, la precipitación, la humedad, el viento y la temperatura son variables que inciden de manera directa en este proceso.

### ➤ **La vegetación**

La vegetación protege a la superficie del suelo del impacto directo del agua, sea esta proveniente de lluvia o escorrentía. La vegetación protege al suelo mediante:

- La intercepción y disminución o anulamiento de la energía cinética con la que caen las gotas de lluvia ya sea mediante las hojas, tallos o los residuos de las plantas.
- La reducción de la velocidad del agua de escorrentía por efecto de la resistencia hidráulica debido al “colchón” que forman los residuos vegetales o cubierta vegetal.
- El aumento de la capacidad de infiltración y almacenamiento del agua en el suelo debido al mejoramiento de la estructura y porosidad del suelo por efecto de las raíces, los residuos vegetales y la actividad microbiana.
- El aumento de la resistencia del suelo a la erosión debido al “amarre” de las partículas de suelo que producen las raíces de las plantas. (Vásquez et all., 2016)

### ➤ **El hombre**

El hombre es el agente principal y decisorio en todo proceso erosivo, debido fundamentalmente a su rol y participación en el manejo y aprovechamiento de los recursos naturales, agua, suelo y cubierta vegetal, por ello se lo considera como el factor antrópico de la erosión.

#### **2.2.5. ESTIMACIÓN DE LA EROSIÓN HÍDRICA**

Existen varios métodos para estimar la pérdida del suelo por acción de la erosión hídrica, entre ellos tenemos métodos empíricos como:

➤ **Método de Gottschalk**

La tabla muestra valores promedio del aporte de sedimento para cuencas de diferentes tamaños, obtenidos de mediciones en los EE. UU. (Gottschalk, 1964)

TAMAÑOS DE CUENCA (Km2)	(AS) APOORTE DE SEDIMENTOS (m3/km2-año)
< 25.9	1810
25.9 a 259.0	762
259.0 a 2590.0	481
> 2590.0	238

*Tabla 1: Valores promedio de aporte de sedimentos para cuencas según su tamaño.  
Fuente: Gottschalk, L., 1964*

➤ **United States Bureau of Reclamation (USBR):**

La Oficina de Reclamación de los Estados Unidos, es mejor conocida por las presas, centrales eléctricas y canales que construyó en los 17 estados del oeste. Estos proyectos de agua llevaron a la colonización y promovieron el desarrollo económico de Occidente. Reclamation ha construido más de 600 presas y embalses, incluida la presa Hoover en el río Colorado y Grand Coulee en el río Columbia. (United States Bureau of Reclamation, s.f.).

$$AS = 1421.8 \times (Ac)^{-0.229}$$

*Ecuación N°01: Ecuación de la USBR para el cálculo de la erosión hídrica*

Donde:

**AS** : Aporte de sedimento en  $(m^3 / km^2 / año)$

**Ac** : Área de la cuenca en  $km^2$

➤ **Método de Namba**

Para el aporte de sedimento “AS” en m<sup>3</sup>/km<sup>2</sup>-año, Namba propone la siguiente ecuación.

$$AS = 0.292 P + 0.474 H - 0.118 F + 2.452$$

*Ecuación N°02: Ecuación de Namba*

Donde:

- P** : Precipitación media anual en (mm).  
**H** : Desnivel máximo de cotas en la cuenca, en (m).  
**F** : Relación entre áreas de suelo desnudo y las cubiertas con vegetación, en %.

➤ **Método de Owen y Branson**

$$AS = 19465 \left( \frac{H}{L} \right) + 14.29 P_s - 604.8$$

*Ecuación N°03: Ecuación de Owen y Branson*

Donde:

- AS** : Aporte de sedimento en m<sup>3</sup> / km<sup>2</sup> – año  
**H/L** : cociente entre el desnivel máximo de cotas en la cuenca (metros) y la longitud total del cauce principal (metros), (adimensional).  
**Ps** : porcentaje de suelo desnudo de la cuenca.

➤ **Método de Dendy y Bolton**

Estudiaron la sedimentación de 505 reservorios, utilizando la escorrentía media anual.

Propusieron relaciones entre volúmenes de sedimentos depositados, escorrentía y superficie de la Cuenca.

- Para escorrentía inferior a 50 mm/año

$$S = (Q/50,8)^{0,46} \times (1.43 - 0.26 \log (A/2,59))$$

*Ecuación N°04: Ecuación de Dendy y Bolton para escorrentía <50mm/año*

- Para escorrentía superior a 50 mm/año

$$S = 685.79 \times e^{-0.11(Q/50,8)} \times (1.43 - 0.26 \log (A/2,59))$$

*Ecuación N°05: Ecuación de Dendy y Bolton para escorrentía >50mm/año*

Donde:

- S** : Aporte de sedimento en Tn / km<sup>2</sup> /año.
- Q** : escorrentía media anual en mm
- A** : es el área de la cuenca en km<sup>2</sup>.

➤ **Ecuación universal de pérdida de suelos (USLE)**

La ecuación universal de la pérdida de suelos (USLE) permite estimar las pérdidas de suelo a nivel medio anual originadas por erosión laminar y de surcos mediante la siguiente expresión:

$$A = R . K . L . S . C . P$$

*Ecuación N°06: Ecuación universal de pérdida de suelo*



Donde:

- A** : Pérdida de suelo media anual (ton/ (ha. año)).  
**R** : Factor de erosividad de lluvia (MJ.mm/ (ha. hora. Año)).  
**K** : Factor de erodabilidad (ton. ha. hora/ (ha.MJ.mm)).  
**LS** : Factor topológico.  
**C** : Factor de cobertura del suelo.  
**P** : Factor de prácticas de control.

A continuación, se presenta como es que se obtendrán cada uno de estos factores que conforman la ecuación:

### **Factor de erosividad de la lluvia (R)**

El factor R se basa en la fuerza con la que impacta la lluvia sobre el suelo de la cuenca. Este factor será estimado empleando la siguiente ecuación de Foster en 1981:

$$R = [(0.276P_t)x75]/100$$

*Ecuación N°07: Factor de erosividad de la lluvia*

Donde:

- R** : Factor de erosividad de lluvia (MJ.mm/ (ha. hora. Año)).  
**P<sub>t</sub>** : Precipitación media anual (mm).

### **Factor de erodabilidad del suelo (K)**

Para la determinación del factor de erodabilidad del suelo se toma en cuenta la susceptibilidad de este a la erosión, ello depende de la resistencia de las partículas de suelo al desprendimiento.

Sharpley Williams en 1990 propone una ecuación que involucra al porcentaje de arena, limo, arcilla y materia orgánica para encontrar el factor K

$$K = \left[ \left( 0.2 + 0.3 * e^{-0.0256 * SAN \left( 1 - \frac{SIL}{100} \right)} \right) * m * n * o * 0.1317 \right]$$

**Ecuación N°08:** Factor de erodabilidad del suelo.

Posteriormente:

$$m = \left( \frac{SIL}{CLA+SIL} \right)^{0.3}$$

**Ecuación N°09**

$$n = 1 - \frac{0.25 * C}{C + e^{(3.72 - 2.95 * C)}}$$

**Ecuación N°10**

$$o = 1 - \frac{0.7 * SN1}{SN1 + e^{(-5.51 + 22.9 * SN1)}}$$

**Ecuación N°11**

Las ecuaciones 09,10 y 11 son factores necesarios para el cálculo del factor K

Siendo:

$$SN1 = 1 - \frac{SAN}{100}$$

**SAN** : % de arena.

**SIL** : % de Limo.

**CLA** : % de arcilla.

**C** : % de materia orgánica.

## Factor topológico o de longitud de la pendiente (L.S)

Este factor depende de la influencia de la pendiente del suelo y su longitud en la potencialidad de erosión del suelo. Morgan en 1995 planteó la siguiente ecuación para calcular el factor LS

$$LS = \left( \frac{X}{22.13} \right)^n (0.065 + 0.045s + 0.0065s^2)$$

*Ecuación N°12: Factor topológico*

Donde:

**x** : Longitud del terreno.

**s** : Pendiente del terreno.

**n** : Parámetro adimensional propuesto por Wischmeier y Smith.

ID	n	Grado
1	0.6	> 3°
2	0.4	3°
3	0.3	2°
4	0.2	1°
5	0.1	< 1°

*Tabla 2: Valores de "n" en función de la pendiente  
Fuente: Wischmeier y Smith, 1978*

## Factor de cobertura vegetal (C)

El factor C toma en cuenta a la vegetación como protección contra la erosión. Este factor fue asociado con el NDVI por el investigador Chao-Yuan Lin en el 2002. Para calcular el NDVI (Normalized Difference Vegetation Index) se calcula con la siguiente expresión

$$NDVI = \frac{R_{IRC} - R_{RVis}}{R_{IRC} + R_{RVis}}$$

*Ecuación N°13: Índice de vegetación de diferencia normalizada*

Donde:

$R_{IRC}$  : Reflectancia de la radiación del infrarrojo cercano, cuya firma espectral varía entre 0.7 y 1.1  $\mu\text{m}$ .

$R_{RVis}$  : Reflectancia de la radiación del rojo visible, cuya firma espectral varía entre 0.6 y 0.7  $\mu\text{m}$ .

El factor C vendría a ser inversamente proporcional al NDVI ya que al haber mayor cobertura vegetal por ende hay una mayor protección contra la erosión. El factor C se calcula mediante la siguiente expresión:

$$C = \frac{1 - NDVI}{2}$$

*Ecuación N°14: Factor de cobertura vegetal.*

Donde:

**C** : Factor de cobertura.

**NDVI** : índice de vegetación de diferencia normalizada.

Código	Tipo	Contenido	Factor C
10	Tierra Cultivada	Las tierras utilizadas para la agricultura, horticultura v jardines	063
20	Bosque	Tierras cubiertas de árboles con cubierta vegetal más del 30%	003
30	Pradera	Terrenos cubiertos de césped natural con una cubierta más del 10%	009
40	Matorral	Tierras cubiertas de arbustos con una cubierta de más del 30%	022
50	Humedal	Tierras cubiertas de plantas de humedales v cuernos 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	Las Superficies Artificiales	Tierras modificadas por las actividades humanas	009
90	Tierra Desolada	Tierras con cubierta vegetal inferior al 10%	005
100	Nieve y Hielo Permanente	Tierras cubiertas por la nieve permanente, y la capa de hielo	0

**Tabla 3:** Valores del factor de cobertura vegetal

**Fuente:** (SENAMHI, 2017)

En el atlas de erosión de los suelos por regiones hidrográficas del Perú realizado por (SENAMHI, 2017) detalla la siguiente tabla de valores para el factor C:

➤ **Ecuación universal de pérdida de suelos revisada (RUSLE)**

Esta ecuación está conformada por los mismos factores de la USLE a excepción del factor de erosividad de la lluvia (R) al que se le realiza una mejora a partir de precipitaciones mensuales y anuales. Para el cálculo de del nuevo factor R se emplea la expresión presentada por Wischmeier y Smith en 1978:

$$R = \sum_{i=1}^{12} 1.735 * 10^{\left(1.5 \log_{10} \left(\frac{P_i^2}{P}\right) - 0.08168\right)}$$

**Ecuación N°15:** Factor R mejorado.

Donde:

- P<sub>i</sub>** : Precipitación mensual (mm).
- P** : Precipitación media anual (mm).

Existen diversas literaturas en donde se clasifica el potencial de erosión del suelo en función de las toneladas de suelo erosionado, a continuación, se presentan las siguientes clasificaciones:

- La clasificación por (Rendana. M, et al., 2016) muestra:

Riesgo de erosión del suelo	
Muy bajo	< 10 Tn/ha/año
Bajo	10 – 50 Tn/ha/año
Moderado alto	50 - 100 Tn/ha/año
Alto	100 – 150 Tn/ha/año
Muy Alto	> 150 Tn/ha/año

**Tabla 4:** Potencial de erosión del suelo.  
**Fuente:** Rendana. M, et al., 2016

- (Ramos, 2001) detalla la siguiente tabla de clasificación:

Erosión baja	A < 5 Tm/ha/año
Erosión moderada	A = 5 - 25 Tm/ha/año
Erosión media	A = 25 - 50 Tm/ha/año
Erosión alta	A = 50 - 100 Tm/ha/año
Erosión muy alta	A = 100 - 200 Tm/ha/año
Erosión crítica	A > 200 Tm/ha/año

**Tabla 5:** Grados de erosión del suelo  
**Fuente:** (Ramos, 2001)

## 2.2.6. SISTEMAS DE INFORMACIÓN GEOGRÁFICA

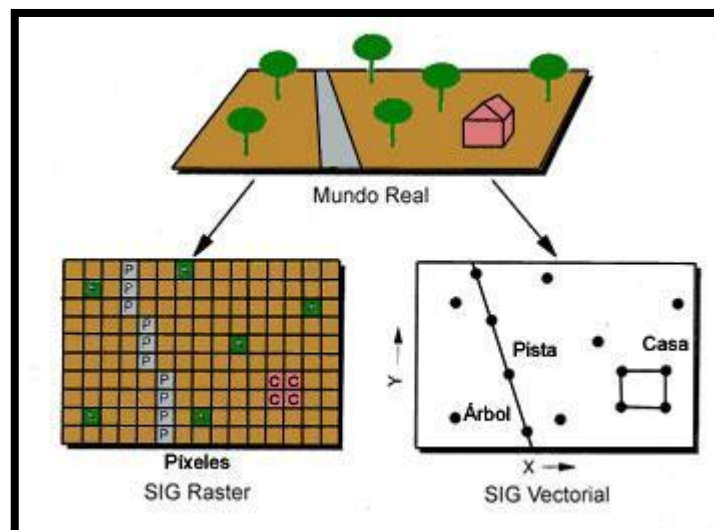
Es una combinación sincronizada del hardware, software, datos geográficos y personal diseñado para capturar, almacenar, manejar, analizar, modelar y representar en todas sus formas la información geográficamente referenciada con el fin de resolver problemas complejos de planificación y gestión. También puede definirse como un modelo de una parte de la realidad referido a un sistema de coordenadas terrestre y construido para satisfacer unas necesidades concretas de información.

### ➤ Formato de los Sistemas de información Geográfica (SIG)

Existen dos formas de almacenar datos en un SIG:

**Ráster:** Cualquier tipo de imagen digital representada en mallas (Píxeles). Divide el espacio en celdas regulares donde cada una de ellas representa un único valor.

**Vectorial:** Aquí los datos están basados en la representación vectorial de la componente espacial de los datos geográficos. Su representación es mediante puntos, líneas y polígonos. (Morales, Aurelio, s.f.).



**Ilustración 1:** Comparación entre datos ráster y vectoriales  
**Fuente:** Teledetección y Sistemas de Información Geográfica

## CAPITULO III

### 3. MATERIALES Y MÉTODOS

#### 3.1. UBICACIÓN

El proyecto de investigación se ejecutará en la cuenca Casitas - Bocapán que está ubicada en los distritos de Zorritos y Casitas.

##### 3.1.1. UBICACIÓN POLÍTICA

DEPARTAMENTO	PROVINCIA	DISTRITOS
Tumbes	Contralmirante Villar	Zorritos (35 %), Casitas (65 %)

*Tabla 6: Ubicación política de la cuenca Casitas - Bocapán*  
*Fuente: (ANA 2023) <https://snirh.ana.gob.pe/observatorioSNIRH/>*

##### 3.1.2. UBICACIÓN ADMINISTRATIVA

AUTORIDAD ADMINISTRATIVA DEL AGUA	AUTORIDAD LOCAL DEL AGUA
Jequetepeque - Zarumilla	Tumbes

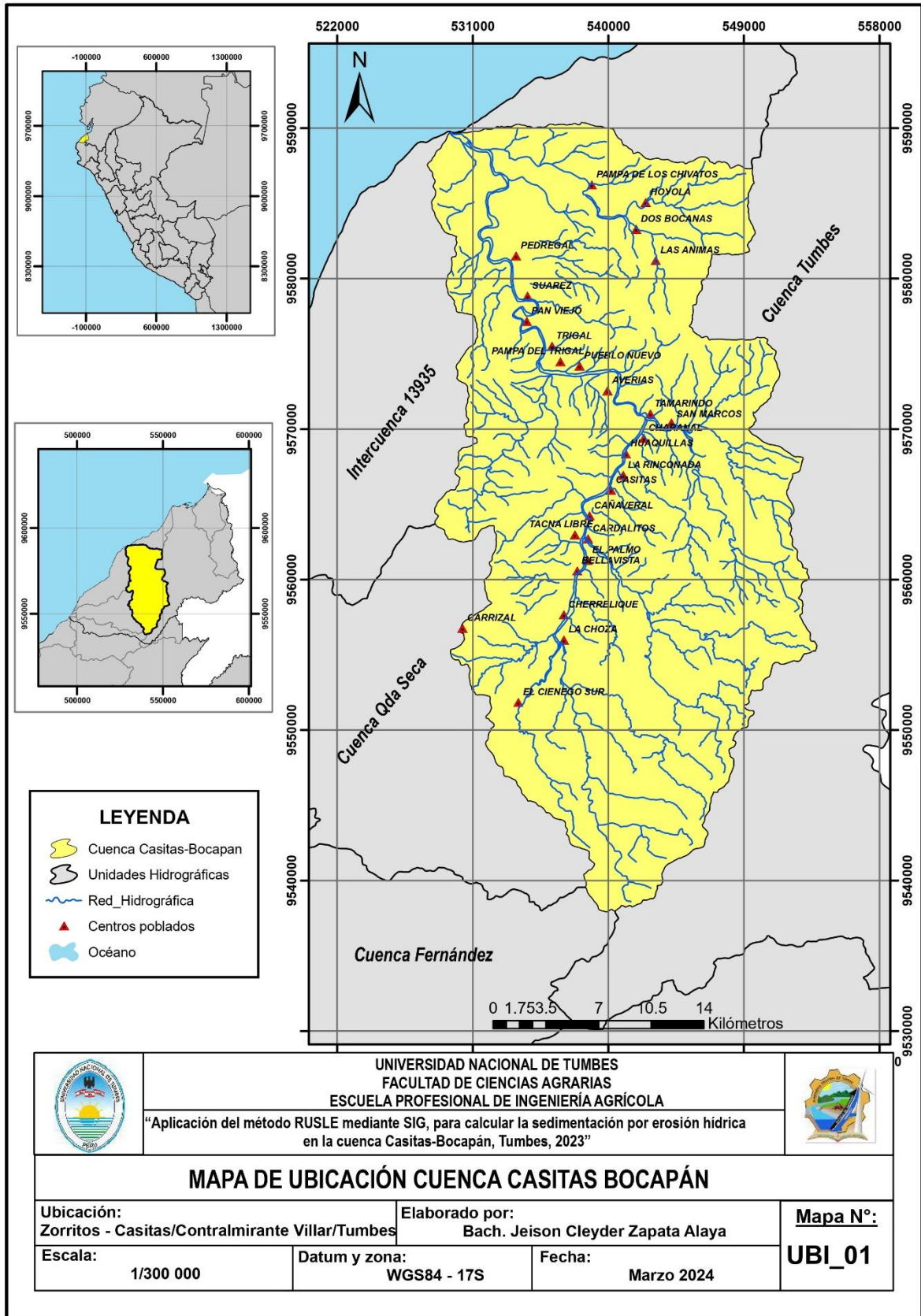
*Tabla 7: Ubicación administrativa de cuenca Casitas - Bocapán*  
*Fuente: (ANA 2023) <https://snirh.ana.gob.pe/observatorioSNIRH/>*

##### 3.1.3. UBICACIÓN GEODÉSICA

COORDENADAS DEL ÁREA DE ESTUDIO	
Coord. este (X) m	Coord. norte (Y) m
525244.00	9590690.00
555409.00	9591183.00
521910.00	9536084.00
556852.00	9537330.00

*Tabla 8: Coordenadas geodésicas de la cuenca Casitas - Bocapán*  
*Fuente: Elaboración propia*





*Ilustración 2: Mapa de ubicación de la cuenca Casitas Bocapán*  
*Fuente: Elaboración propia*

## 3.2. MATERIALES Y EQUIPOS

### 3.2.1. MATERIALES

El material para el desarrollo del proyecto de investigación se reunió de diferentes páginas e instituciones que se detallan a continuación:

- Sistema Nacional de Información de Recursos Hídricos (SNIRH) de la Autoridad Nacional del Agua, para la descarga de shaphefiles de cuencas hidrográficas del Perú (Datos vectoriales) obtenidos desde la página del <https://geosnirh.ana.gob.pe/Repositorio/Shape/UnidadesHidrograficas.zip>
  
- Datos históricos de precipitación acumulada mensual de las estaciones presentes en el área de la cuenca Casitas – Bocapán para la determinación del factor  $R$ , obtenidos desde: <https://snirh.ana.gob.pe/ANDREA/Integrado.aspx> y de la data del Proyecto Especial Binacional Puyango Tumbes (PEBPT).
  
- Para el cálculo del factor  $K$  se descargaron datos de ráster de porcentaje de arena, limo y arcilla del sistema de mapeo digital de suelos SoilGrids, obtenido desde el siguiente enlace: <https://soilgrids.org/>
  
- Modelos de elevación digital para calcular el factor  $LS$  descargados de la página Land Viewer en el siguiente enlace: <https://eos.com/landviewer/?tool-timelapse=&lat=-3.71225&lng=-80.72567&z=16&preset=terrainTiles>
  
- Imágenes LANDSAT descargadas en formato GeoTif que se utilizarán en el cálculo del factor  $C$  desde: <https://earthexplorer.usgs.gov/>
  
- Útiles de escritorio (Cuaderno de registro, lapiceros, regla, etc.)

### 3.2.2. EQUIPOS

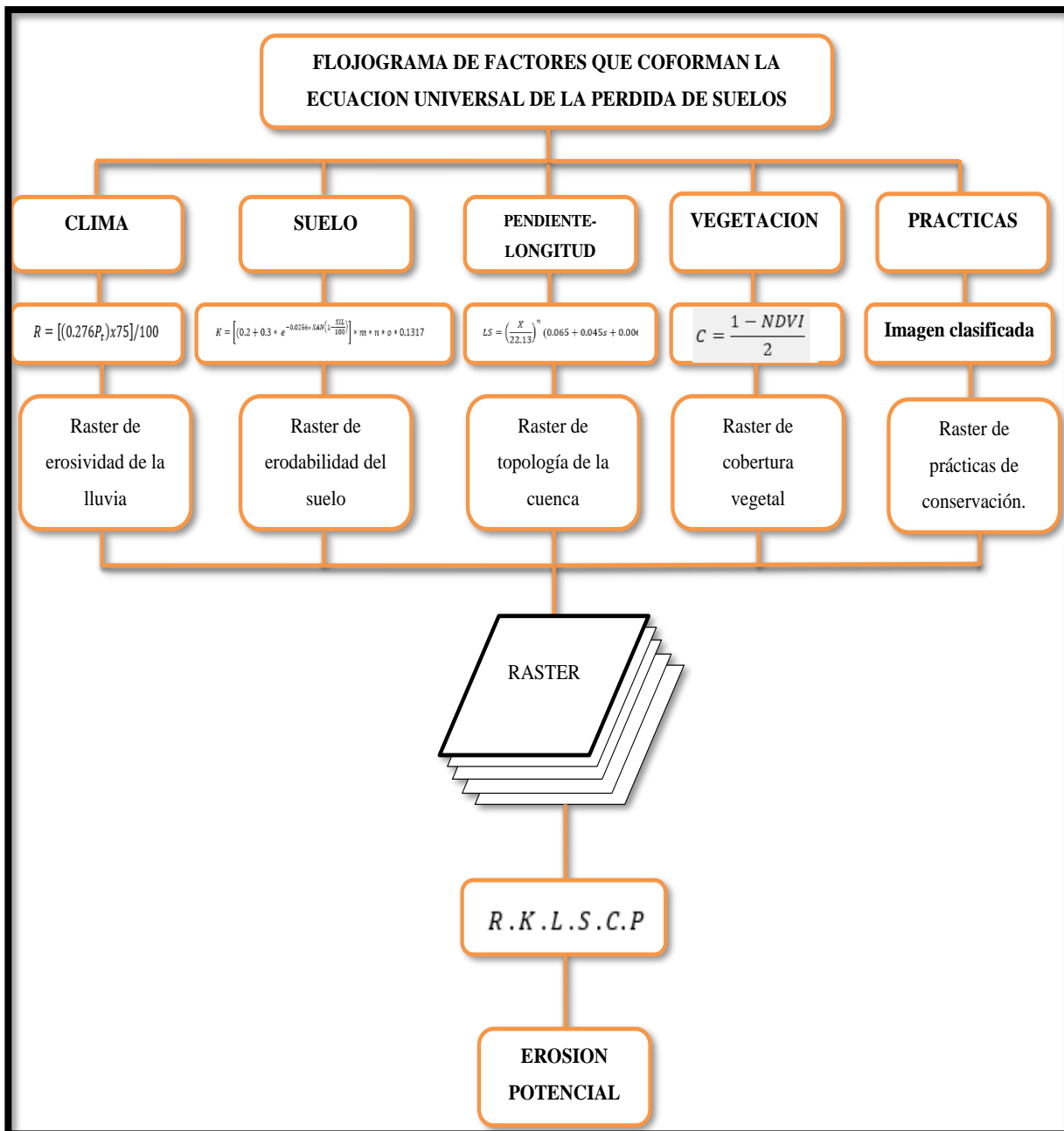
- Laptop Corei 7
- Cámara fotográfica
- Smartphone
- Impresora

### 3.2.3. SOFTWARE

- **Excel versión 2019:** Para realizar tablas y cálculos complejos.
- **Word versión 2019:** Para la redacción del proyecto.
- **ArcGIS 10.8** : Para el procesamiento de variables.
- **Google Earth Pro** : Para la visualización satelital del área de estudio.

### 3.3. METODOLOGIA

#### 3.3.1. FLUJOGRAMA DE LAS VARIABLES DE LA ECUACIÓN RUSLE



**Ilustración 3:** Flujograma de las variables que conforman la ecuación RUSLE  
**Fuente:** Elaboración propia

### 3.3.2. OBTENCIÓN DE LA INFORMACIÓN BÁSICA A UTILIZAR

Como se dijo anteriormente la ecuación universal de la pérdida de suelos RUSLE está compuesta por varios factores los cuales encontraremos a continuación a través de datos tomados en campo, así como también datos geospaciales obtenidos de manera virtual.

#### 3.3.2.1. Precipitación acumulada mensual

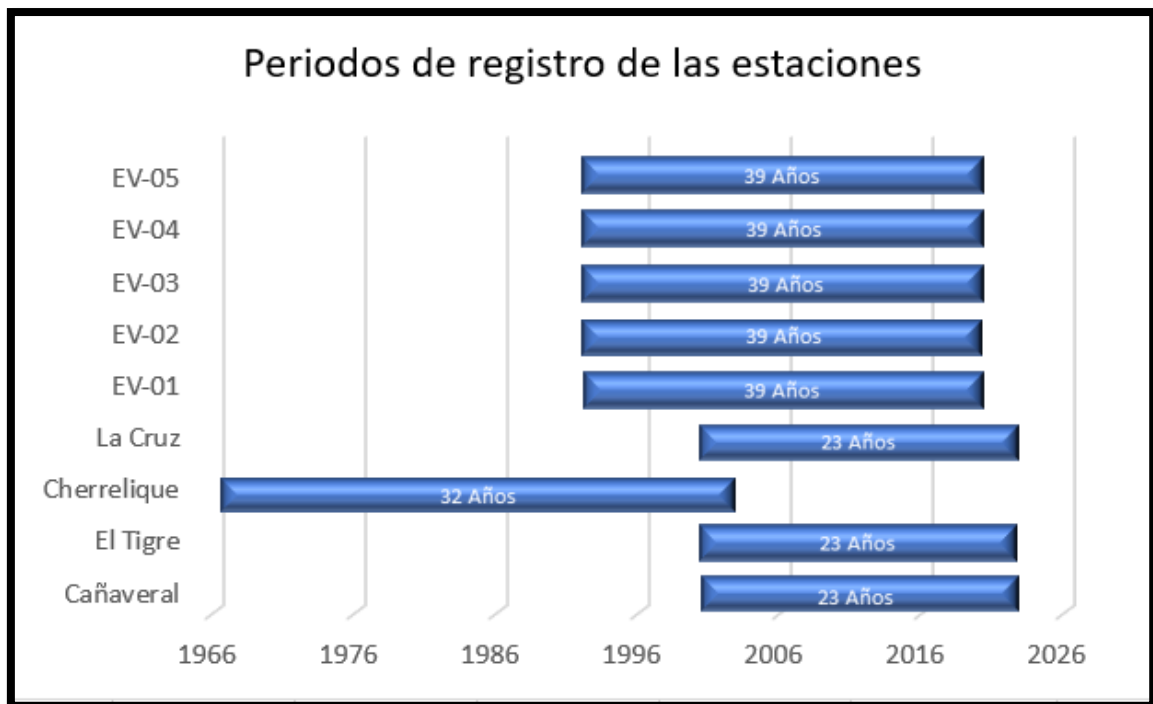
Para la obtención de datos de precipitación de la sub cuenca Casitas – Bocapán, se consultó con registros de las estaciones ubicadas dentro del área de la misma, encontrando dos estaciones con datos históricos registrados de manera constante que fue la estación Cañaverl y Cherrelique.

Ante el problema de la inexistencia de estaciones pluviométricas dentro de la sub cuenca se optó por buscar estaciones cerca al área de influencia, además de generar estaciones virtuales utilizando el Producto Grillado PISCO precm así como la consulta de data utilizada en investigaciones similares en la región.

Como resultado se obtuvieron las siguientes estaciones con las cuales se trabajó la presente investigación:

Nombre de la estación	Ubicación Geográfica		Coordenadas UTM		Altitud m.s.n.m	Periodo de registro	Total, de años
	Provincia	Distrito	Este (X)	Norte (Y)			
Cañaverl	Contralmirante Villar	Casitas	538790.327	9564596.397	133	2000 - 2022	23
El Tigre	Tumbes	San Jacinto	560328.102	9579702.764	45	2000 - 2022	23
Cherrelique	Contralmirante Villar	Casitas	572152.327	9554159.308	165	1966 - 1997	32
La Cruz	Tumbes	La Cruz	547834.856	9598947.999	6	2000 - 2022	23
EV-01	Contralmirante Villar	Zorritos	538863.759	9585498.075	106	1981 - 2019	39
EV-02	Contralmirante Villar	Zorritos	527759.775	9585501.877	38	1981 - 2019	39
EV-03	Contralmirante Villar	Zorritos	527753.298	9563394.657	287	1981 - 2019	39
EV-04	Contralmirante Villar	Casitas	538845.153	9541283.125	980	1981 - 2019	39
EV-05	Tumbes	San Jacinto	549943.938	9541277.518	390	1981 - 2019	39

**Tabla 9:** Información de estaciones utilizadas en la investigación  
**Fuente:** Elaboración propia

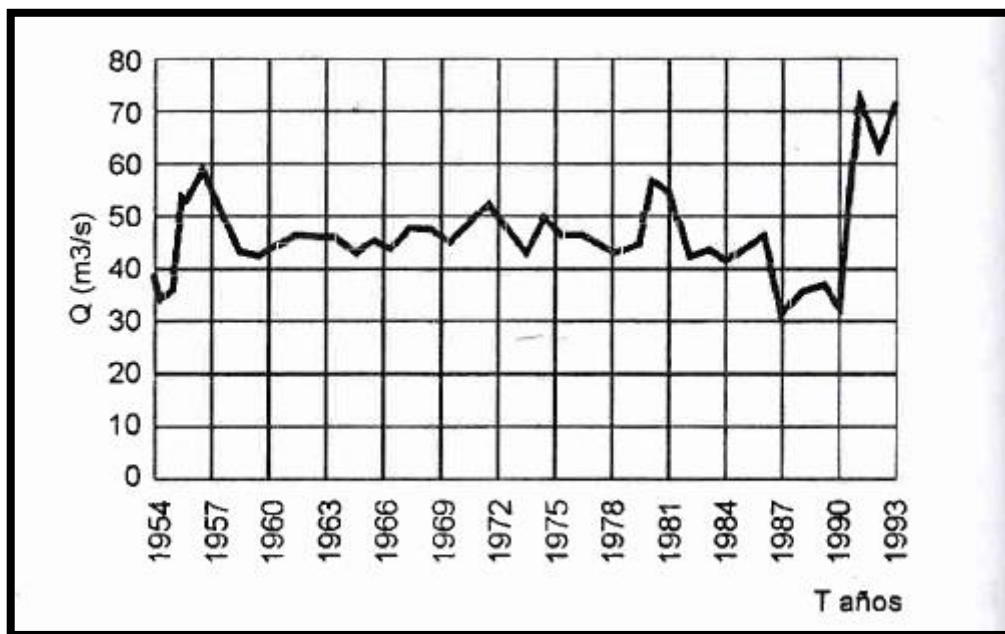


**Ilustración 4:** Periodos de registro de data en las estaciones utilizadas  
**Fuente:** Elaboración propia

Posteriormente, la información reunida de las estaciones consideradas en la presente investigación pasó por una serie de filtros que comprueben la confiabilidad de los datos para poder ser utilizados.

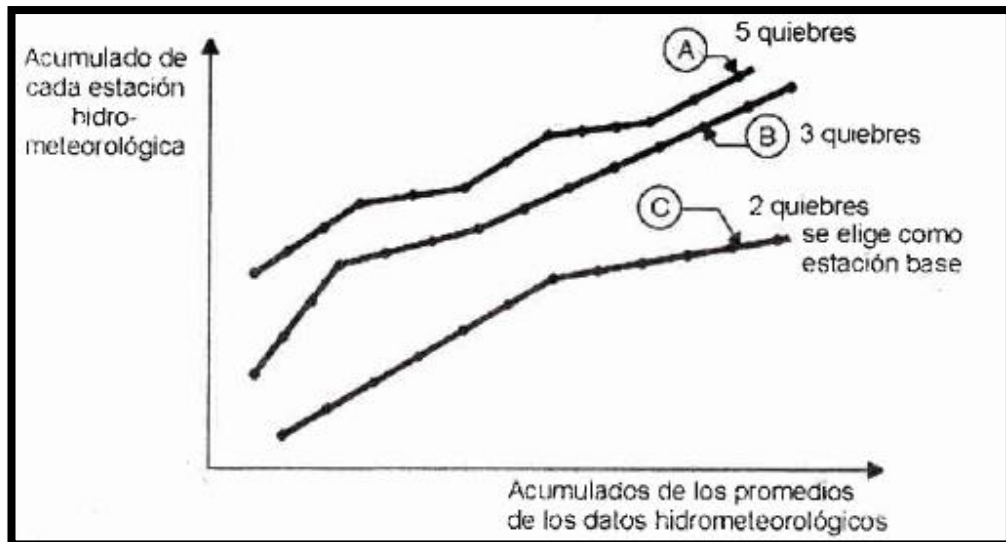
Según (Villón, 2006) en su libro Hidrología Estadística señala que, para poder obtener una serie histórica confiable, es decir, que sea homogénea y consistente es necesario que se realice un análisis de consistencia respectivo, que comprenden los siguientes procesos:

- I. **Análisis visual Gráfico:** Este método nos permite estudiar la consistencia Hidrológica de los datos de manera visual, nos ayuda a identificar periodos donde puede existir información dudosa.



*Ilustración 5: Ejemplo de serie histórica de caudales de promedio anuales*  
**Fuente:** (Villón, 2006) Hidrología Estadística

- II. **Análisis de doble masa:** Este método consiste en identificar a través de los quiebres que se presentan en los diagramas periodos dudosos de registro ya sea que hayan sido ocasionados por fenómenos naturales o por errores en el registro de los datos.



**Ilustración 6:** Ejemplo de análisis de doble masa para determinar estación base  
**Fuente:** (Villón, 2006) Hidrología Estadística

**III. Análisis estadístico:** Este método se utiliza luego de haber obtenido los gráficos de análisis visual y el de doble masa, que nos permitieron identificar los periodos dudosos y los que se mantendrán para darles un tratamiento de corrección a través del análisis de saltos y análisis de tendencias.

### 3.3.2.2. Clasificación textural del suelo (%arena, %limo, %arcilla, %MO)

Los datos de textura del suelo de la subcuenca Casitas Bocapán se descargaron de la página SoilGrids, dicho sistema recopila datos de perfiles de suelos y capas ambientales de manera global.

Estos datos se descargan de manera gratuita desde <https://soilgrids.org/> y tienen un formato ráster Geotiff con una resolución de 250m.



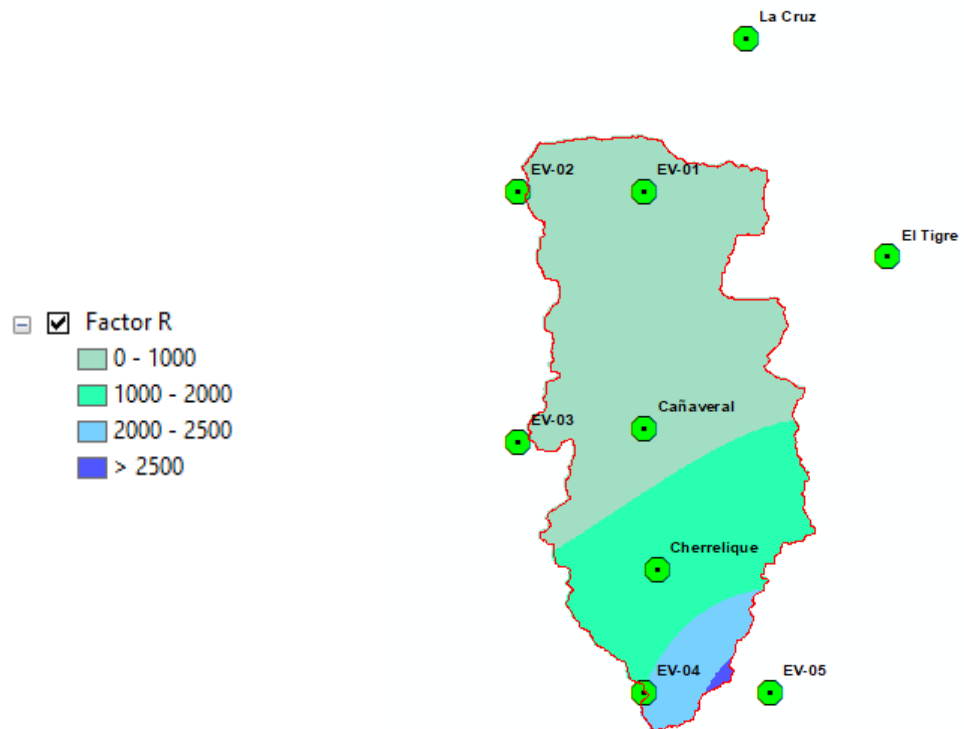
### 3.3.3. PROCESAMIENTO DE LOS FACTORES DEL MÉTODO “RUSLE”

La obtención de cada uno de los factores que componen la metodología RUSLE se realizó después de haber reunido la información requerida, es necesario trabajar cada factor de manera individual para luego realizar un álgebra de mapas en el software ArcGIS.

#### 3.3.3.1. Factor de erosividad de la lluvia – “R”

Para determinar el factor “R” se ha utilizado la data de las estaciones de la Tabla N°09, cabe mencionar que los datos han pasado por un previo análisis de confiabilidad de los mismos. Luego se empleó la ecuación N°15 desarrollada por Wischmeier y Smith 1978.

Para facilitar el proceso se utilizó el programa Excel, y una vez calculado el factor R se empleó el programa ArcGIS para con las herramientas de geoprocésamiento realizar una interpolación Krigin lineal, obteniendo el siguiente ráster:

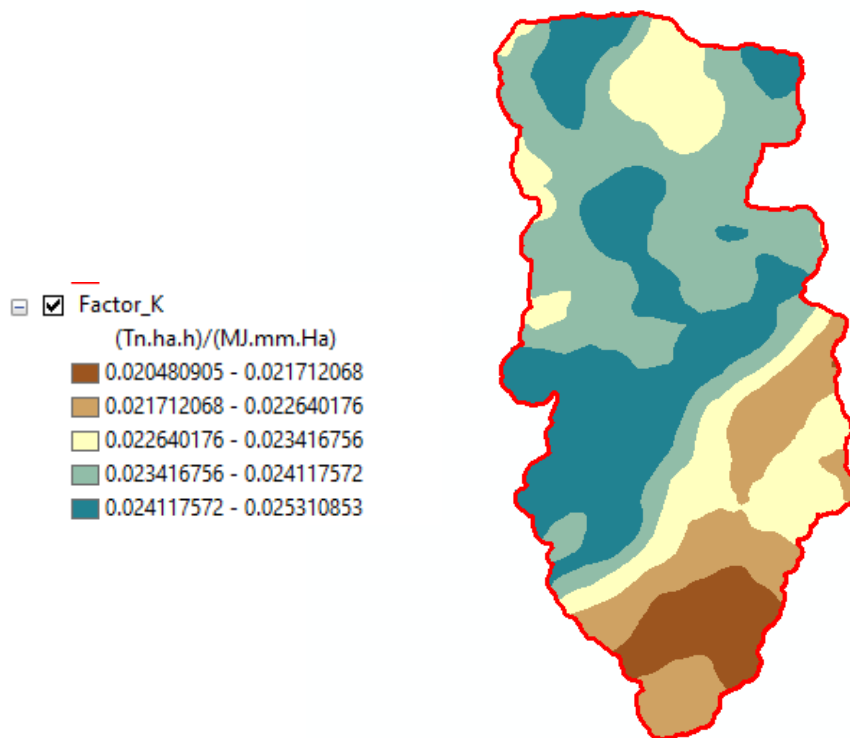


**Ilustración 7:** Distribución del factor R en la cuenca Casitas - Bocapán  
**Fuente:** Elaboración propia

### 3.3.3.2. Factor de erodabilidad del suelo – “K”

El factor de erodabilidad del suelo se determinó en base a archivos ráster descargados desde la página de SoilGrids, este sitio nos brinda una colección de mapas con información global de los tipos de suelo del mundo y la distribución espacial de los perfiles del mismo. Los archivos obtenidos fueron los de porcentaje de arena, limo, arcilla y el contenido de materia orgánica.

Una vez obtenidos los ráster requeridos, se realizó el tratamiento de estos con el programa ArcGIS y sus diferentes herramientas de geoprocésamiento, todo ello con la finalidad de acondicionar cada uno de ellos para poder aplicar la ecuación N°08, obteniendo como resultado el siguiente ráster:



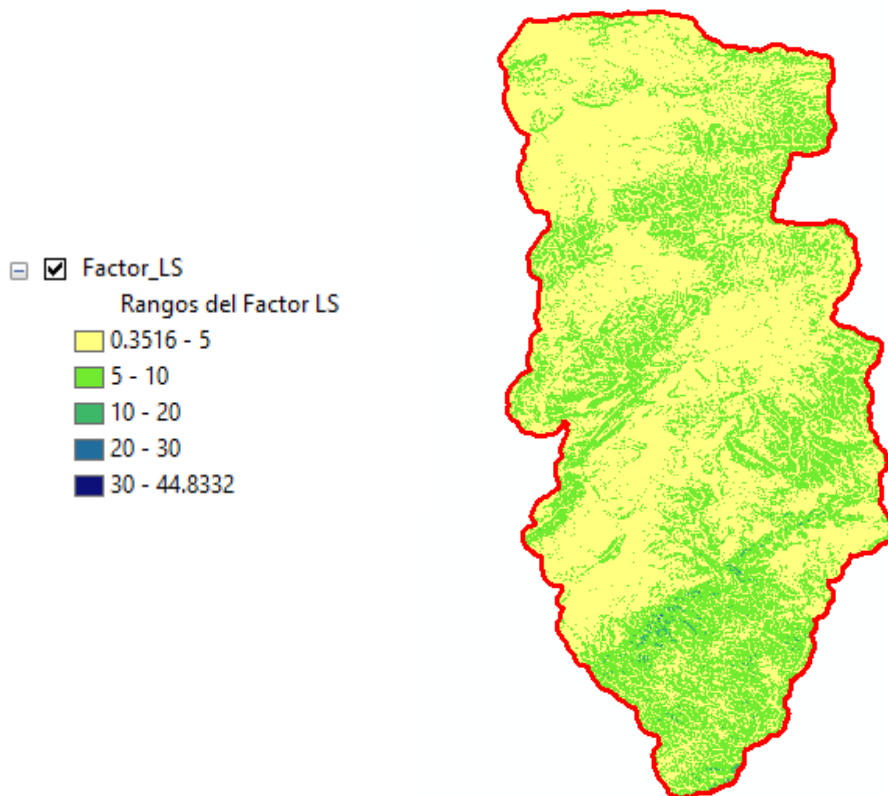
**Ilustración 8:** Distribución del factor K en la cuenca Casitas Bocapán

**Fuente:** Elaboración propia

### 3.3.3.3. Factor topológico – “L.S”

Para la estimación del Factor LS se ha considerado el relieve de la cuenca extraído del modelo digital de elevación (DEM) descargado desde la página del MINAM, esta información está disponible de manera gratuita y las imágenes tienen una resolución espacial de 30m x 30m.

La fórmula para encontrar el factor topológico está compuesta por varias variables, para ello se calculó cada una de ellas por separado en formato ráster, para luego aplicar la Fórmula N°12 con la herramienta de “Ráster Calculator” del programa ArcGIS con cada variable calculada y como resultado se obtuvo el siguiente mapa:



**Ilustración 9:** Distribución del factor LS en la cuenca Casitas Bocapán  
**Fuente:** Elaboración propia

### 3.3.3.4. Factor de cobertura vegetal – “C”

El factor de la cobertura vegetal es quizá el más importante para el cálculo de la producción de sedimentos en la subcuenca Casitas – Bocapán.

Para la determinación de este factor se descargaron imágenes satelitales Landsat 8 entre el periodo 2013 – 2022 (10 años) y solo entre los meses de octubre a diciembre (ver tabla N°10) debido a que, esa será la cobertura vegetal con la que el suelo recibirá a las lluvias que empiezan entre los meses de enero a mayo en los distritos de casitas y zorritos (época de verano). Adicional a ello, se seleccionaron imágenes con un índice de nubosidad menor al 30% para poder tener mejor apreciación de la cobertura.

<i><b>Imagen</b></i>	<i><b>Sensor</b></i>	<i><b>Fecha de toma de imagen</b></i>	<i><b>Resolución</b></i>
Landsat 8	OLI TIRS	21/12/2013	30m x 30m
Landsat 8	OLI TIRS	21/10/2014	30m x 30m
Landsat 8	OLI TIRS	24/10/2015	30m x 30m
Landsat 8	OLI TIRS	11/11/2016	30m x 30m
Landsat 8	OLI TIRS	13/10/2017	30m x 30m
Landsat 8	OLI TIRS	10/10/2018	30m x 30m
Landsat 8	OLI TIRS	19/10/2019	30m x 30m
Landsat 8	OLI TIRS	24/12/2020	30m x 30m
Landsat 8	OLI TIRS	24/10/2021	30m x 30m
Landsat 8	OLI TIRS	11/10/2022	30m x 30m

**Tabla 10:** Lista de imágenes satelitales utilizadas en la investigación  
**Fuente:** Elaboración propia

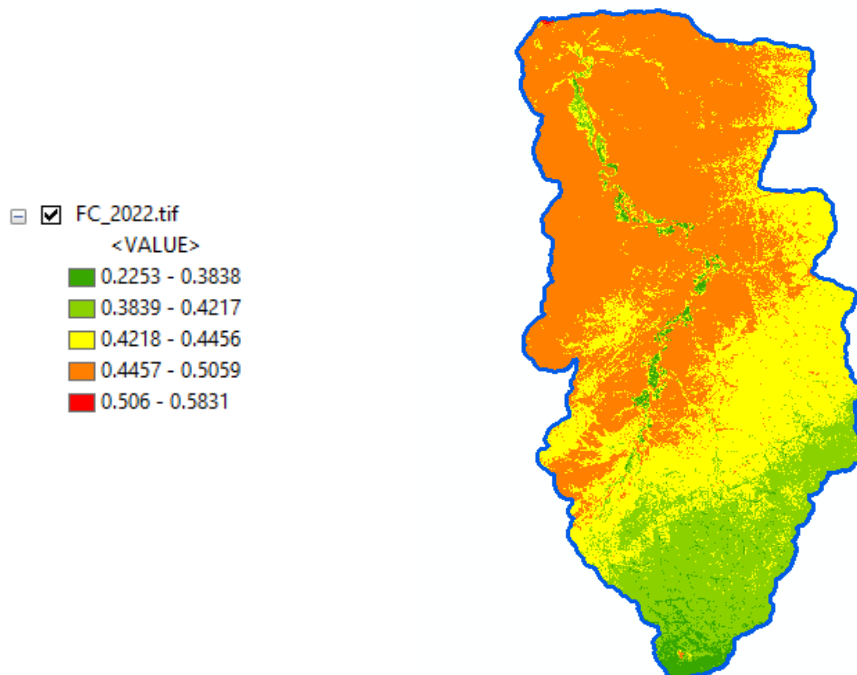
Obtenidas las imágenes satelitales de procedió a aplicar la metodología con la ecuación N° 13 para encontrar el NDVI:

Comportamiento del NDVI				
Fecha de imagen	Época	Mínimo	Máximo	Promedio
21/12/2013	Seca	-0.16538288	0.51455694	0.12745346
21/10/2014	Seca	-0.14583035	0.56570393	0.11624608
24/10/2015	Seca	-0.15498109	0.56779611	0.17620884
11/11/2016	Seca	-0.17263457	0.52266824	0.17044392
13/10/2017	Seca	-0.1659144	0.56269646	0.21166125
10/10/2018	Seca	-0.16635871	0.58347869	0.13893094
19/10/2019	Seca	-0.12876877	0.55567217	0.13500114
24/12/2020	Seca	-0.0079416	0.45681936	0.11556683
24/10/2021	Seca	-0.13752002	0.60054654	0.14635526
11/10/2022	Seca	-0.16611448	0.54936928	0.12111619

**Tabla 11:** Comportamiento del NDVI periodo 2013 - 2022

Fuente: Elaboración propia

Finalmente se empleó la ecuación N°14 para encontrar los valores del factor “C” para cada año en los que se descargó las imágenes satelitales obteniendo así el siguiente ráster:

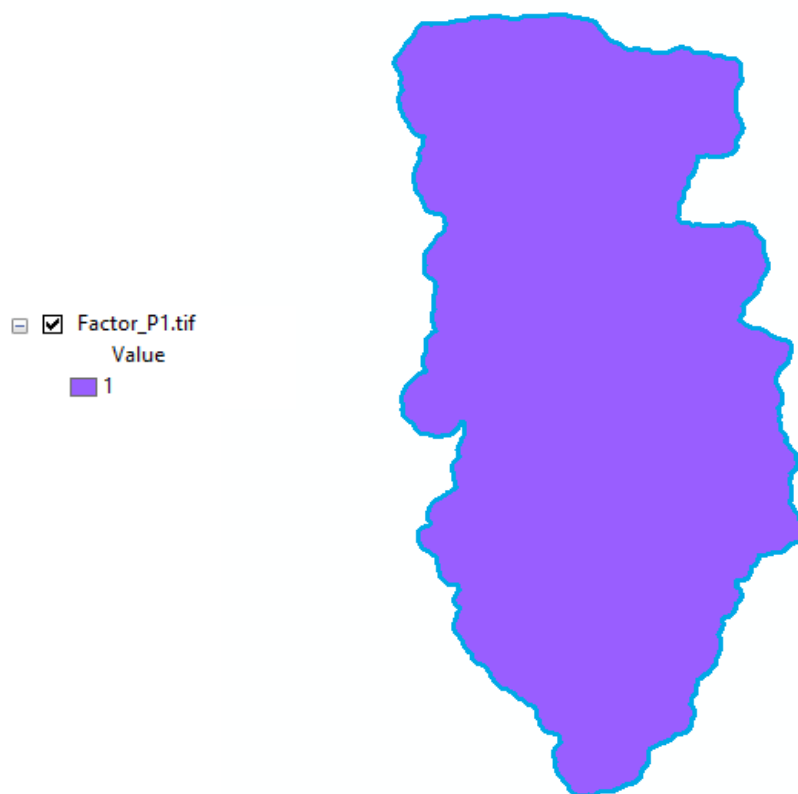


**Ilustración 10:** Distribución del factor C en la cuenca Casitas Bocapán

Fuente: Elaboración propia

### 3.3.3.5. Factor de prácticas de control – “P”

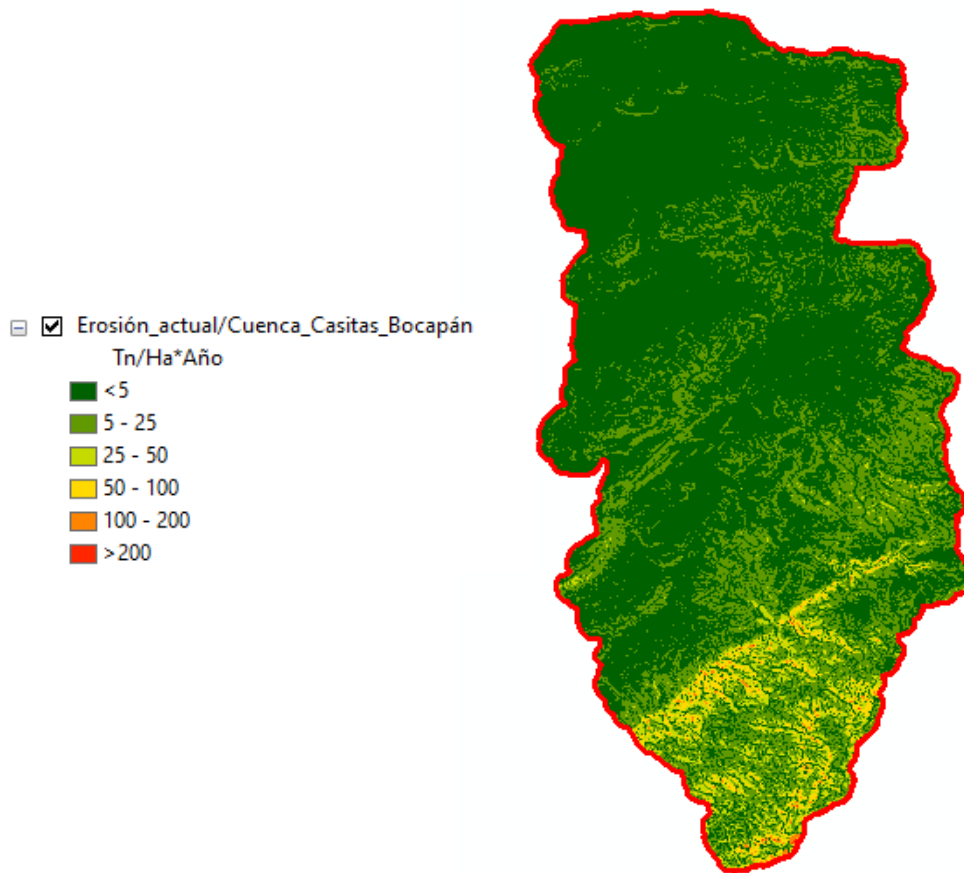
El factor de prácticas de control del suelo hace referencia a las medidas que adopta el hombre para ayudar a la conservación del suelo. Para el caso de esta investigación se ha asignado el valor de 1 al factor P para que no altere el resultado de la ecuación, puesto que, en la cuenca no existen dichas prácticas de conservación ni tampoco existe información que nos ayude a determinar este factor. Es así que se generó el siguiente ráster:



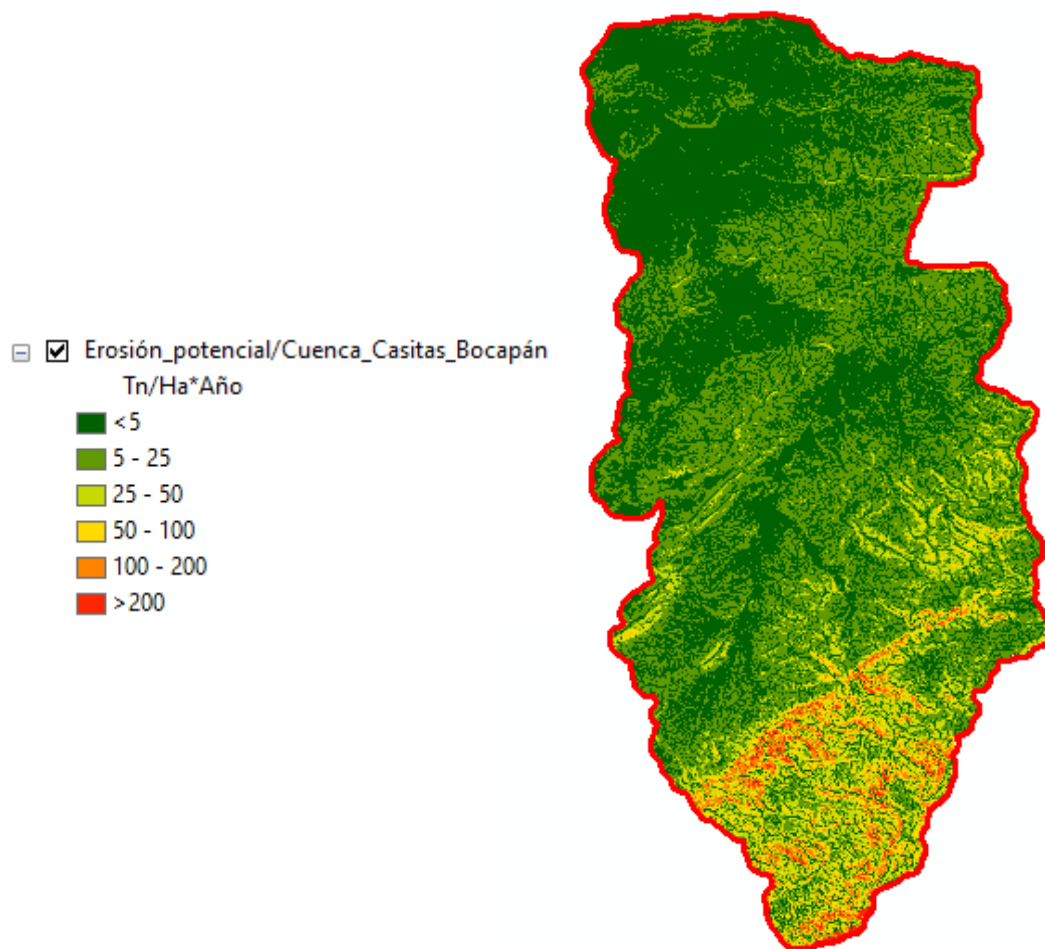
**Ilustración 11:** Distribución del factor P en la cuenca Casitas Bocapán  
**Fuente:** Elaboración propia

### 3.3.3.6. Cálculo de la erosión hídrica

Obtenidos todos los factores R, K, L, S, C y P se procede a realizar la operacionalidad de estos con la ayuda del programa ArcGIS y su herramienta “Ráster Calculator”, es necesario recalcar que la resolución de pixel con la que se ha trabajado es de 30 x 30 metros y el sistema de coordenadas es WGS-1984-UTM-Zona-17S, es así que se obtuvo el siguiente resultado:



**Ilustración 12:** Distribución de la erosión hídrica actual de la cuenca Casitas Bocapán  
**Fuente:** Elaboración propia



**Ilustración 13:** Distribución de la erosión hídrica potencial de la cuenca Casitas Bocapán  
**Fuente:** Elaboración propia

En la ilustración N°12 se puede apreciar la distribución de la erosión hídrica potencial para el año 2013 en función de la cobertura vegetal de dicho año. Los mapas de cobertura vegetal del periodo 2013 – 2022 se pueden observar desde el anexo 11 al anexo 20.



## CAPITULO IV

### 4. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

#### 4.1. RESULTADOS

##### 4.1.1. FACTOR DE EROSIVIDAD DE LA LLUVIA – “R”

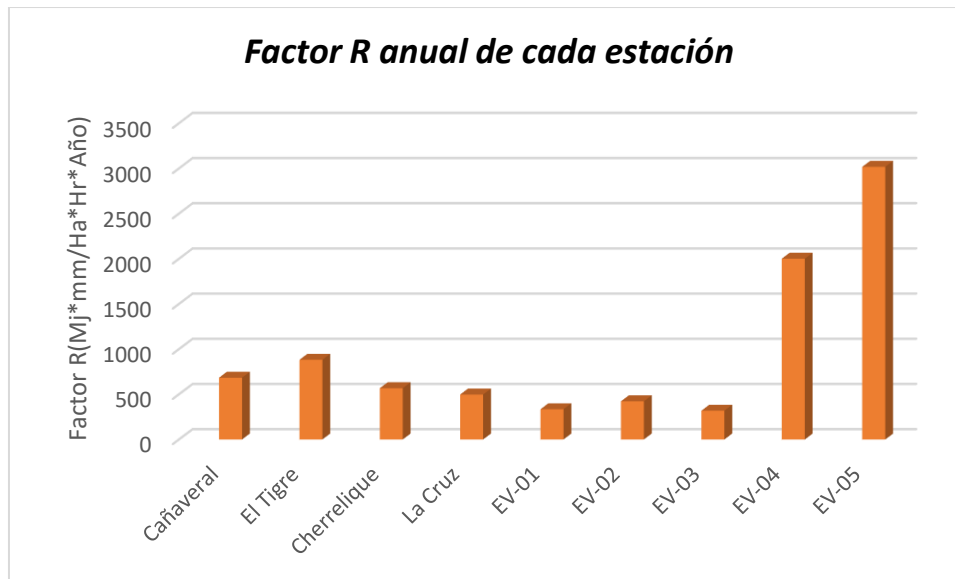
Este primer factor de erosividad de la lluvia nos muestra valores promedio que oscilan entre 318.97 Mj\*mm/Ha\*Hr\*Año en la estación “EV-03” y 3018.09 Mj\*mm/Ha\*Hr\*Año en la estación “EV-05”, en la tabla N°12 se muestra los cálculos del factor R promedio de cada estación y en cada mes de acuerdo al periodo señalado.

Nombre de la estación	Cañaverál	El Tigre	Cherrelique	La Cruz	EV-01	EV-02	EV-03	EV-04	EV-05
<b>Enero</b>	21.87	32.10	26.77	9.85	36.97	14.73	10.08	19.81	65.55
<b>Febrero</b>	171.83	339.72	105.09	164.74	92.30	116.20	167.98	1323.72	1481.97
<b>Marzo</b>	452.77	438.01	315.21	308.91	185.85	277.12	118.72	596.91	1409.29
<b>Abril</b>	37.33	54.78	117.43	13.60	18.84	12.70	21.07	49.50	57.83
<b>Mayo</b>	0.08	1.32	3.35	0.28	0.77	0.94	0.45	2.93	0.24
<b>Junio</b>	0.00	16.10	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
<b>Julio</b>	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
<b>Agosto</b>	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
<b>Setiembre</b>	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
<b>Octubre</b>	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
<b>Noviembre</b>	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
<b>Diciembre</b>	0.08	0.14	0.01	0.05	0.19	1.01	0.68	8.07	3.19
<b>Factor R anual</b>	683.96	882.20	567.86	497.42	334.92	422.71	318.97	2000.93	3018.09

*Tabla 12: Factor de erosividad promedio y acumulado de cada estación*

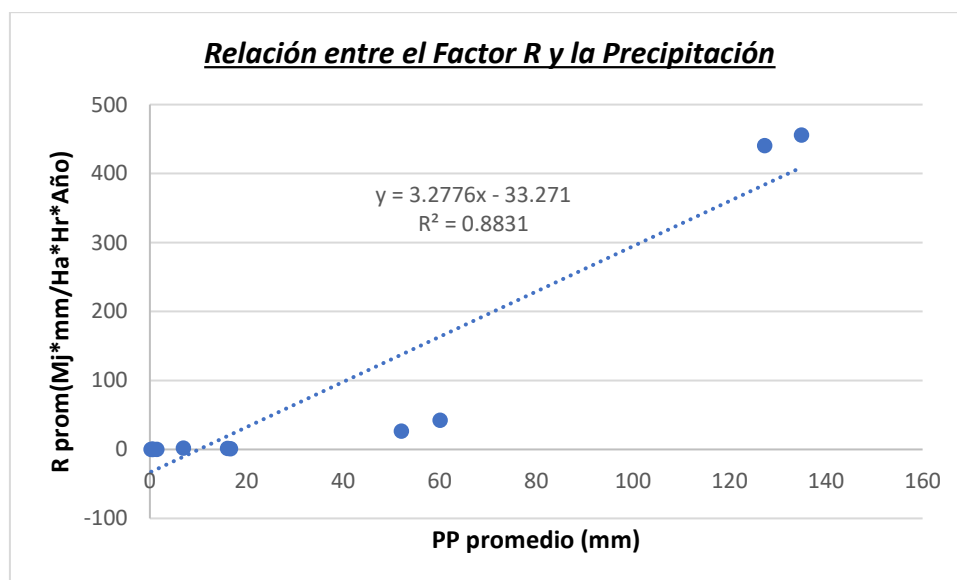
*Fuente: Elaboración propia*

En la Ilustración N°13 a través del gráfico de barras también se pueden observar los valores de erosión anuales calculados, teniendo como valor máximo en la EV-05 y mínimo en la EV-03.



**Ilustración 14:** Gráfico del factor R promedio anual en las diferentes estaciones del estudio  
**Fuente:** Elaboración propia

En la Ilustración N°14 se tiene el gráfico de relación entre la precipitación y el factor R obteniendo un  $R^2 = 0.8831$  lo que nos permite afirmar que existe una buena consistencia entre los resultados obtenidos.



**Ilustración 15:** Gráfico de relación entre el factor R y la precipitación  
**Fuente:** Elaboración propia

#### 4.1.2. FACTOR DE ERODABILIDAD DEL SUELO – “K”

De acuerdo con el geoprocesamiento de los datos de porcentaje de arena, arcilla, limo y materia orgánica obtenidos desde la página SoilGrids se elaboró la tabla N°13 en la que se muestra el rango de los valores de cada clase.

<b>Clasificación</b>	<b>Máximo %</b>	<b>Mínimo %</b>	<b>Promedio %</b>
<b>Arena</b>	61.60	46.30	54.61
<b>Arcilla</b>	29.80	20.70	24.39
<b>Limo</b>	26.02	14.80	21.01
<b>Carbono Orgánico</b>	6.30	2.50	4.53

**Tabla 13:** Rangos de cada clasificación textural.

**Fuente:** Elaboración propia

Posteriormente habiendo operado los ráster obtenidos desde SoilGrids con la ayuda del programa ArcGIS se obtuvieron rangos de clasificación del factor de erodabilidad en el ámbito de la cuenca Casitas – Bocapán que se muestran en la Tabla N°14:

<b>Rangos de erodabilidad</b>	<b>Área (Km2)</b>	<b>Área (%)</b>
<b>0.02048 - 0.02171</b>	59.17	6.54
<b>0.02172 - 0.02264</b>	122.70	13.55
<b>0.02265 - 0.02342</b>	163.08	18.01
<b>0.02343 - 0.02412</b>	302.00	33.35
<b>0.02413 - 0.02531</b>	258.47	28.55
<b>Total</b>	905.42	100.00

**Tabla 14:** Rangos de erodabilidad presentes en el área de la cuenca Casitas - Bocapán

**Fuente:** Elaboración propia

Según la tabla obtenida de AMEZQUITA, 1990 citado por FLORES, 2015 los rangos de erodabilidad obtenidos para el área de la cuenca Casitas – Bocapán se encuentran en una clasificación MEDIANAMENTE ERODABLE como se muestra a continuación:

Valores de K (T ha. H/MJ MM ha.)	Clasificación
0.007902	Muy poco erodable
0.0079 - 0.0171	Débilmente erodable
0.0171 - 0.0329	Medianamente erodable
0.0342 - 0.0684	Fuertemente erodable
0.0684 - 0.1027	Extremadamente erodable

**Tabla 15:** Clasificación de los rangos de erodabilidad del suelo

**Fuente:** AMEZQUITA, 1990

#### 4.1.3. FACTOR TOPOLÓGICO – “L.S”

Los valores para el factor topológico en la cuenca Casitas – Bocapán van desde 0.3516 como valor mínimo hasta 44.8333 como valor máximo, dichos valores guardan relación con la pendiente, ya que, mientras más escarpada sea esta mayor será el valor del factor LS.

De acuerdo con la clasificación de FAO, 2009 existen los siguientes tipos de gradientes de pendiente:

Clase	Descripción	Pendiente (%)
1	Plano	0 - 0.2
2	Nivel	0.2 - 0.5
3	Cercano al nivel	0.5 - 1
4	Muy ligeramente inclinado	1 - 2
5	Ligeramente inclinado	2 - 5
6	Inclinado	5 - 10
7	Fuertemente inclinado	10 - 15
8	Moderadamente escarpado	15 - 30
9	Escarpado	30 - 60
10	Muy escarpado	> 60

**Tabla 16:** Clasificación de gradiente de pendientes

**Fuente:** FAO, 2009

En la tabla N°17 que se presenta a continuación se muestran los rangos de gradiente de pendientes dentro del ámbito de la cuenca Casitas – Bocapán.

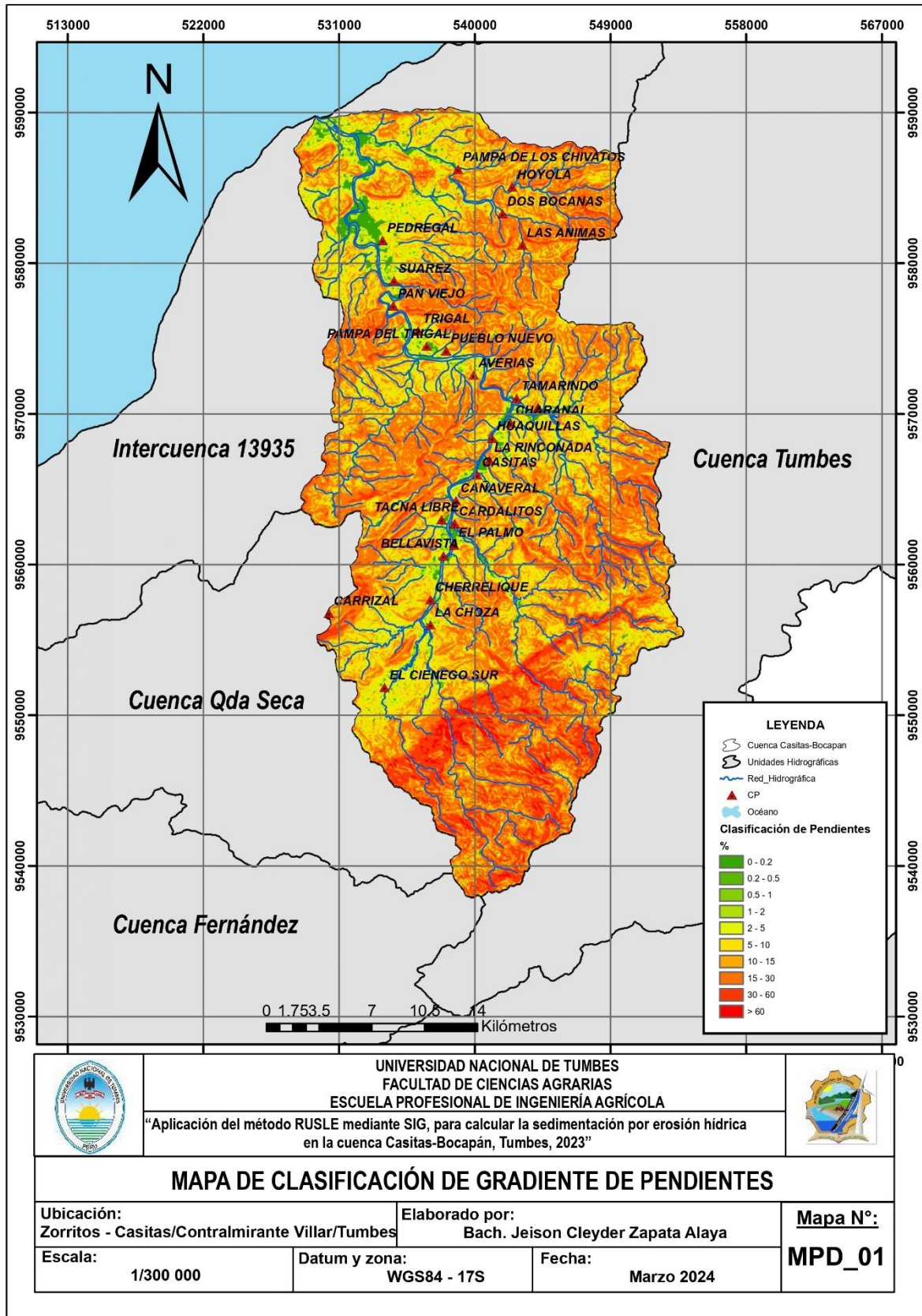
Clase	Descripción	Área (Km2)	Área (%)
1	Plano	25.777	2.85
2	Nivel	7.382	0.82
3	Cercano al nivel	2.082	0.23
4	Muy ligeramente inclinado	21.168	2.34
5	Ligeramente inclinado	92.217	10.19
6	Inclinado	190.771	21.07
7	Fuertemente inclinado	179.857	19.87
8	Moderadamente escarpado	294.707	32.55
9	Escarpado	84.802	9.37
10	Muy escarpado	6.567	0.73

**Tabla 17:** Clasificación de gradiente de pendientes en la cuenca Casitas - Bocapán

**Fuente:** Elaboración propia

Cómo se puede apreciar, de acuerdo con los datos obtenidos del geoprocesamiento el rango que predomina es el de “Moderadamente escarpado” con una superficie de 294.707 Km<sup>2</sup> lo cual representa el 32.55 % del total de área, por otro lado, el rango que menor incidencia presenta es el de “Cercano a nivel” con un área de 2.082 Km<sup>2</sup> representando este un 0.23 %.

En la Ilustración N°15 se muestra el mapa de la clasificación de pendientes según FAO, 2009 en la cuenca Casitas – Bocapán que permite observar a detalle la distribución de cada rango de gradiente.



*Ilustración 16: Mapa de clasificación de gradiente de pendientes*  
*Fuente: Elaboración propia*

#### 4.1.4. FACTOR DE COBERTURA VEGETAL – “C”

Con la información obtenida de las imágenes satelitales se pudo realizar el geoprocésamiento de estas y calcular así el NDVI, con ello se puede clasificar los valores en rangos definidos.

De acuerdo con (López et al., 2015) citado por (Gamboa, 2023) se plantea una clasificación de los valores del NDVI los cuales se detallan en la tabla N°18 que se muestra a continuación:

Clasificación	Valor
Nubes y agua (NA)	<0.01
Suelo sin vegetación (SV)	0.01 - 0.1
Vegetación ligera (VL)	0.1 - 0.2
Vegetación mediana (VM)	0.2 - 0.4
Vegetación alta (VA)	>0.4

**Tabla 18:** Rangos de clasificación del NDVI

*Fuente:* López et al., 2015

En base a estos rangos se han clasificado los valores del NDVI de la cuenca Casitas – Bocapán y su incidencia de acuerdo al porcentaje de superficie que representa cada rango (ver tabla N°19)

##### Valores del NDVI año 2013

Clase	Clasificación	Rango	Área (Km2)	Área (%)
1	Nubes y agua (NA)	< 0.01	8.36	0.92
2	Suelo sin vegetación (SV)	0.01 - 0.1	257.75	28.47
3	Vegetación ligera (VL)	0.1 - 0.2	593.92	65.60
4	Vegetación mediana (VM)	0.2 - 0.4	45.05	4.98
5	Vegetación alta (VA)	> 0.4	0.35	0.04

##### Valores del NDVI año 2014

Clase	Clasificación	Rango	Área (Km2)	Área (%)
1	Nubes y agua (NA)	< 0.01	2.68	0.30
2	Suelo sin vegetación (SV)	0.01 - 0.1	369.48	40.81
3	Vegetación ligera (VL)	0.1 - 0.2	504.52	55.72
4	Vegetación mediana (VM)	0.2 - 0.4	28.07	3.10
5	Vegetación alta (VA)	> 0.4	0.61	0.07

##### Valores del NDVI año 2015

Clase	Clasificación	Rango	Área (Km2)	Área (%)
1	Nubes y agua (NA)	< 0.01	0.05	0.01
2	Suelo sin vegetación (SV)	0.01 - 0.1	26.15	2.89
3	Vegetación ligera (VL)	0.1 - 0.2	624.86	69.01
4	Vegetación mediana (VM)	0.2 - 0.4	252.80	27.92
5	Vegetación alta (VA)	> 0.4	1.53	0.17

##### Valores del NDVI año 2016

Clase	Clasificación	Rango	Área (Km2)	Área (%)
1	Nubes y agua (NA)	< 0.01	0.09	0.01
2	Suelo sin vegetación (SV)	0.01 - 0.1	35.82	3.96
3	Vegetación ligera (VL)	0.1 - 0.2	666.32	73.60
4	Vegetación mediana (VM)	0.2 - 0.4	202.79	22.40
5	Vegetación alta (VA)	> 0.4	0.34	0.04

##### Valores del NDVI año 2017

Clase	Clasificación	Rango	Área (Km2)	Área (%)
1	Nubes y agua (NA)	< 0.01	0.16	0.02
2	Suelo sin vegetación (SV)	0.01 - 0.1	28.05	3.10
3	Vegetación ligera (VL)	0.1 - 0.2	410.77	45.37
4	Vegetación mediana (VM)	0.2 - 0.4	464.18	51.27
5	Vegetación alta (VA)	> 0.4	2.20	0.24

##### Valores del NDVI año 2018

Clase	Clasificación	Rango	Área (Km2)	Área (%)
1	Nubes y agua (NA)	< 0.01	0.84	0.09
2	Suelo sin vegetación (SV)	0.01 - 0.1	103.10	11.39
3	Vegetación ligera (VL)	0.1 - 0.2	737.20	81.43
4	Vegetación mediana (VM)	0.2 - 0.4	63.40	7.00
5	Vegetación alta (VA)	> 0.4	0.82	0.09

### Valores del NDVI año 2019

Clase	Clasificación	Rango	Área (Km2)	Área (%)
1	Nubes y agua (NA)	< 0.01	0.09	0.01
2	Suelo sin vegetación (SV)	0.01 - 0.1	240.79	26.60
3	Vegetación ligera (VL)	0.1 - 0.2	569.85	62.94
4	Vegetación mediana (VM)	0.2 - 0.4	93.98	10.38
5	Vegetación alta (VA)	> 0.4	0.65	0.07

### Valores del NDVI año 2020

Clase	Clasificación	Rango	Área (Km2)	Área (%)
1	Nubes y agua (NA)	< 0.01	0.22	0.02
2	Suelo sin vegetación (SV)	0.01 - 0.1	304.75	33.66
3	Vegetación ligera (VL)	0.1 - 0.2	579.83	64.04
4	Vegetación mediana (VM)	0.2 - 0.4	20.55	2.27
5	Vegetación alta (VA)	> 0.4	0.01	0.002

### Valores del NDVI año 2021

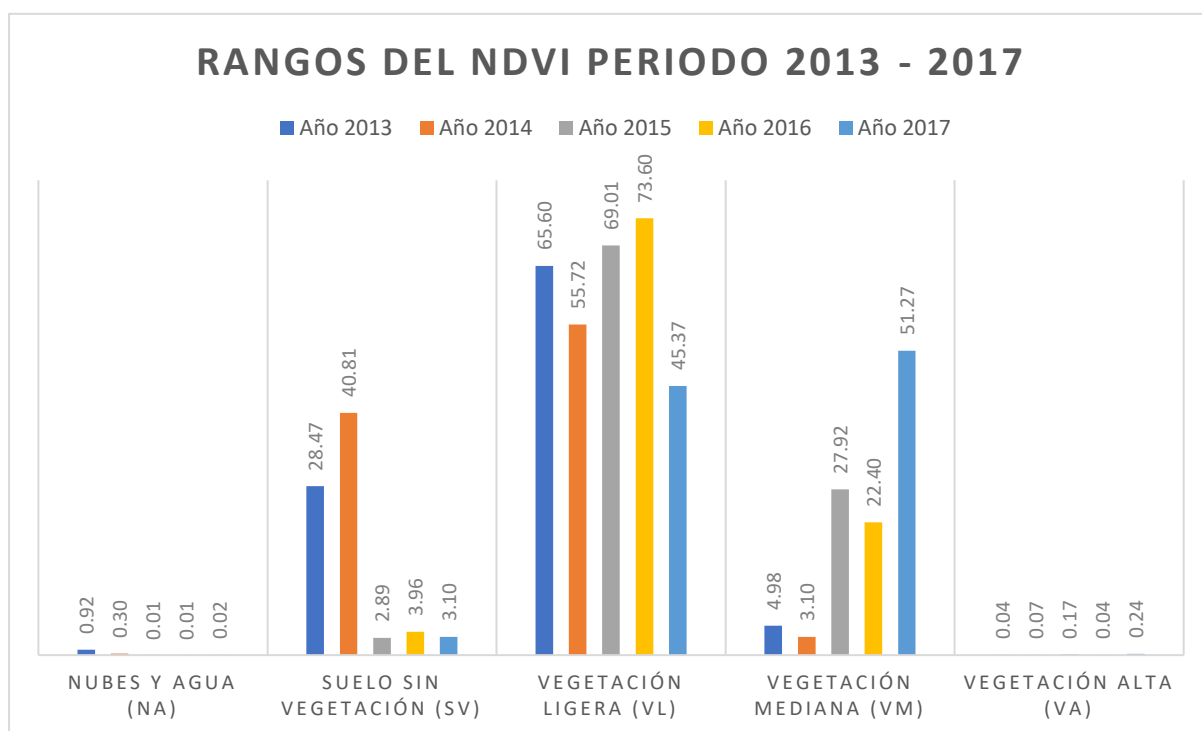
Clase	Clasificación	Rango	Área (Km2)	Área (%)
1	Nubes y agua (NA)	< 0.01	0.99	0.11
2	Suelo sin vegetación (SV)	0.01 - 0.1	141.83	15.67
3	Vegetación ligera (VL)	0.1 - 0.2	656.23	72.48
4	Vegetación mediana (VM)	0.2 - 0.4	104.99	11.60
5	Vegetación alta (VA)	> 0.4	1.33	0.15

### Valores del NDVI año 2022

Clase	Clasificación	Rango	Área (Km2)	Área (%)
1	Nubes y agua (NA)	< 0.01	0.02	0.00
2	Suelo sin vegetación (SV)	0.01 - 0.1	364.12	40.22
3	Vegetación ligera (VL)	0.1 - 0.2	488.47	53.95
4	Vegetación mediana (VM)	0.2 - 0.4	52.38	5.79
5	Vegetación alta (VA)	> 0.4	0.38	0.04

**Tabla 19: Clasificación del NDVI periodo 2013 - 2018**

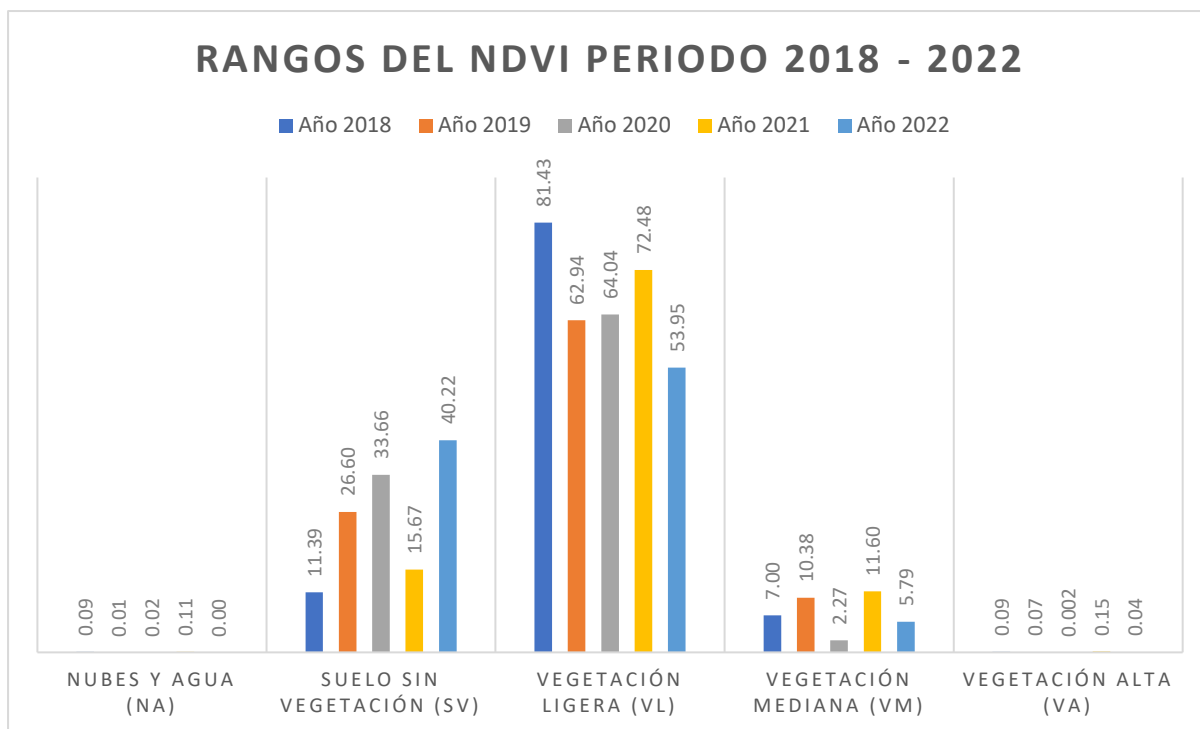
*Fuente: Elaboración propia*



**Ilustración 17: Gráfico de valores de NDVI periodo 2013 - 2017**

*Fuente: Elaboración propia*





**Ilustración 18:** Gráfico de valores de NDVI periodo 2018 – 2022  
**Fuente:** Elaboración propia

Como puede verse en las ilustraciones N°17 y N°18 la “Vegetación Ligera” es la que predomina dentro del ámbito de cenca Casitas Bocapán llegando a su pico más alto en el año 2018 con un porcentaje de 81.43 % de la superficie total de la cuenca.

Posteriormente luego de haber presentado valores del NDVI se procedió a calcular el Factor C para cada año del periodo 2013 – 2022, dichos valores se muestran en la tabla N°20 y se representa gráficamente en la ilustración N°18.

Valores de C año 2013

Clase	Rango	Área (Km2)	Área (%)
1	0.2427 - 0.3031	0.44	0.05
2	0.3031 - 0.3634	7.42	0.82
3	0.3634 - 0.4238	175.33	19.37
4	0.4238 - 0.4841	704.81	77.85
5	0.4841 - 0.5445	17.34	1.92

Valores de C año 2014

Clase	Rango	Área (Km2)	Área (%)
1	0.2171 - 0.2834	0.21	0.02
2	0.2834 - 0.349	4.15	0.46
3	0.3497 - 0.416	86.70	9.58
4	0.416 - 0.4823	807.12	89.15
5	0.4823 - 0.5485	7.20	0.80

Valores de C año 2015

Clase	Rango	Área (Km2)	Área (%)
1	0.2161 - 0.2797	0.49	0.05
2	0.2797 - 0.3432	18.37	2.03
3	0.3432 - 0.4068	286.79	31.68
4	0.4068 - 0.4703	599.53	66.22
5	0.4703 - 0.5339	0.19	0.02

Valores de C año 2016

Clase	Rango	Área (Km2)	Área (%)
1	0.2387 - 0.3041	0.51	0.06
2	0.3041 - 0.3695	36.68	4.05
3	0.3695 - 0.435	712.22	78.67
4	0.435 - 0.5004	155.89	17.22
5	0.5004 - 0.5659	0.08	0.01

Valores de C año 2017

Clase	Rango	Área (Km2)	Área (%)
1	0.2187 - 0.2848	0.62	0.07
2	0.2848 - 0.3509	88.85	9.81
3	0.3509 - 0.417	592.79	65.48
4	0.417 - 0.4831	220.43	24.35
5	0.4831 - 0.5492	2.65	0.29

Valores de C año 2018

Clase	Rango	Área (Km2)	Área (%)
1	0.2083 - 0.2801	0.28	0.03
2	0.2801 - 0.3519	6.61	0.73
3	0.3519 - 0.4237	261.90	28.93
4	0.4237 - 0.4955	635.82	70.23
5	0.4955 - 0.5673	0.76	0.08

Valores de C año 2019

Clase	Rango	Área (Km2)	Área (%)
1	0.2222 - 0.2874	0.23	0.03
2	0.2874 - 0.3527	12.95	1.43
3	0.3527 - 0.418	235.08	25.96
4	0.418 - 0.4833	636.18	70.27
5	0.4833 - 0.5485	20.94	2.31

Valores de C año 2020

Clase	Rango	Área (Km2)	Área (%)
1	0.2716 - 0.3181	0.10	0.01
2	0.3181 - 0.3645	2.48	0.27
3	0.3645 - 0.411	48.12	5.32
4	0.411 - 0.4575	666.63	73.63
5	0.4575 - 0.504	188.03	20.77

Valores de C año 2021

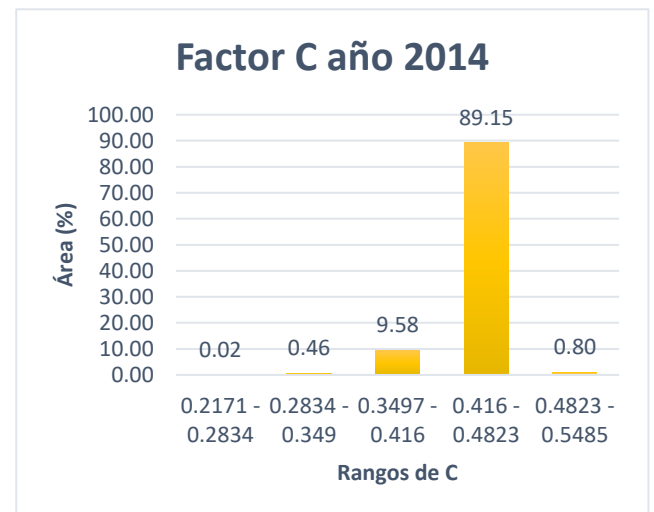
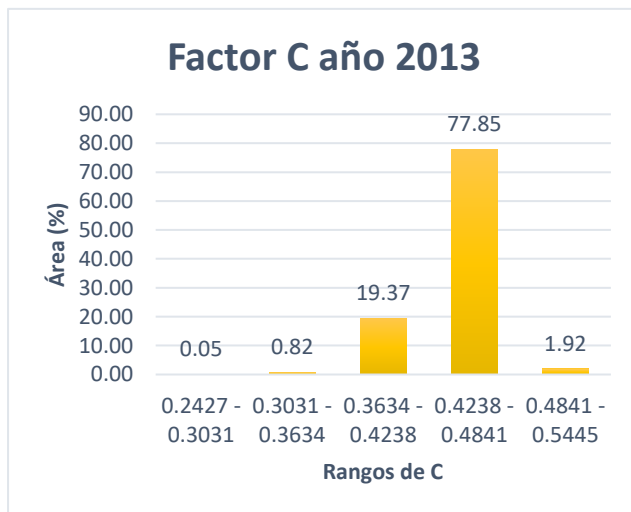
Clase	Rango	Área (Km2)	Área (%)
1	0.1997 - 0.2642	0.21	0.02
2	0.2642 - 0.3287	5.16	0.57
3	0.3287 - 0.3932	78.63	8.68
4	0.3932 - 0.4576	759.33	83.87
5	0.4576 - 0.5221	62.03	6.85

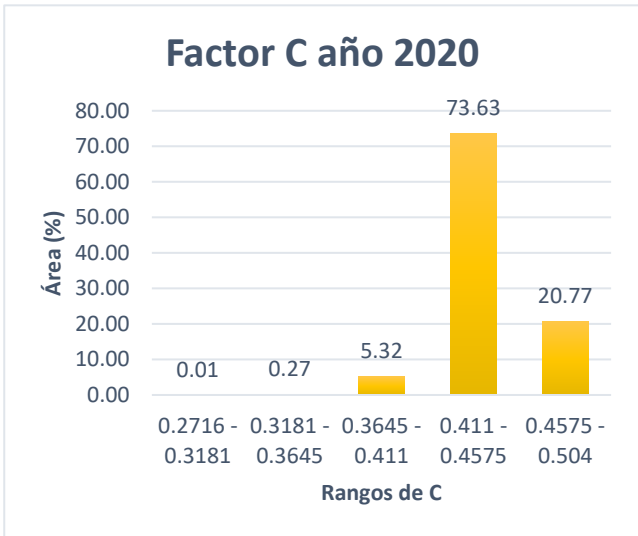
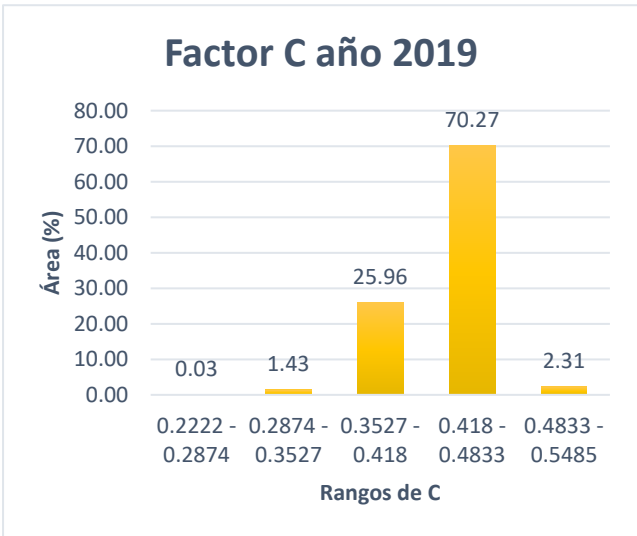
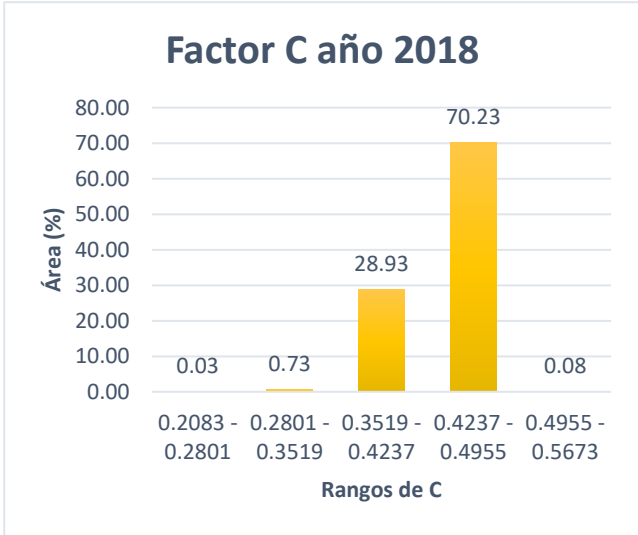
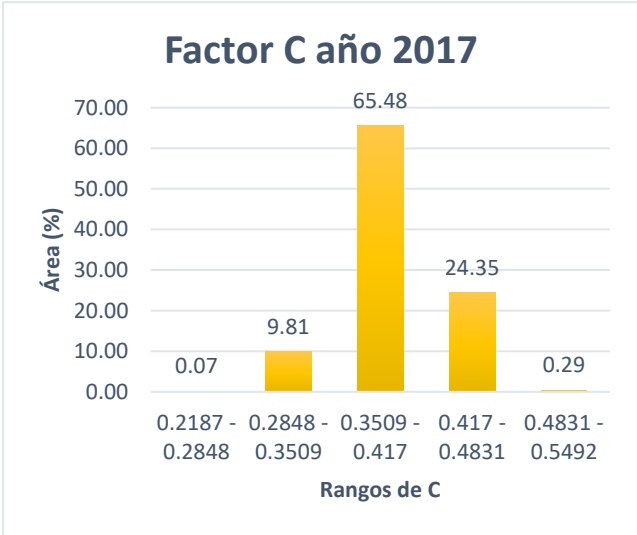
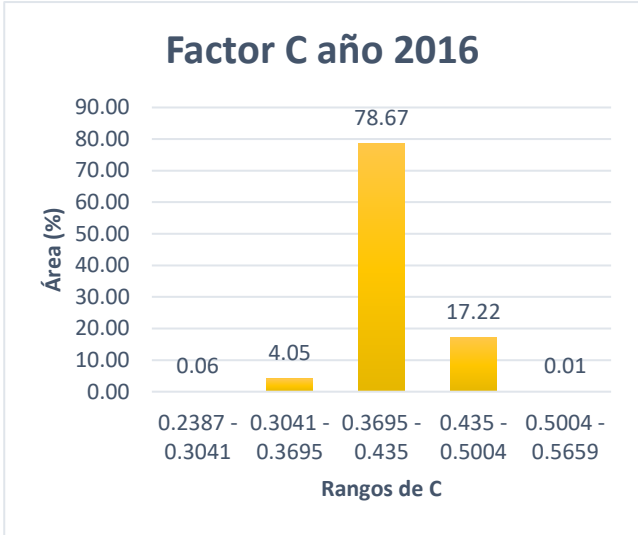
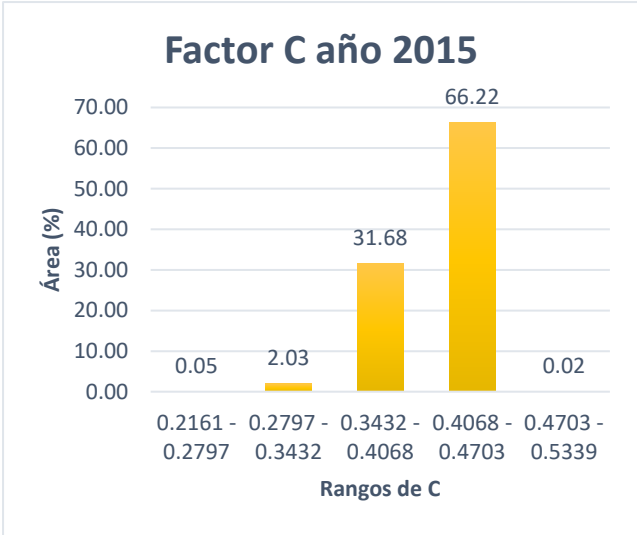
Valores de C año 2022

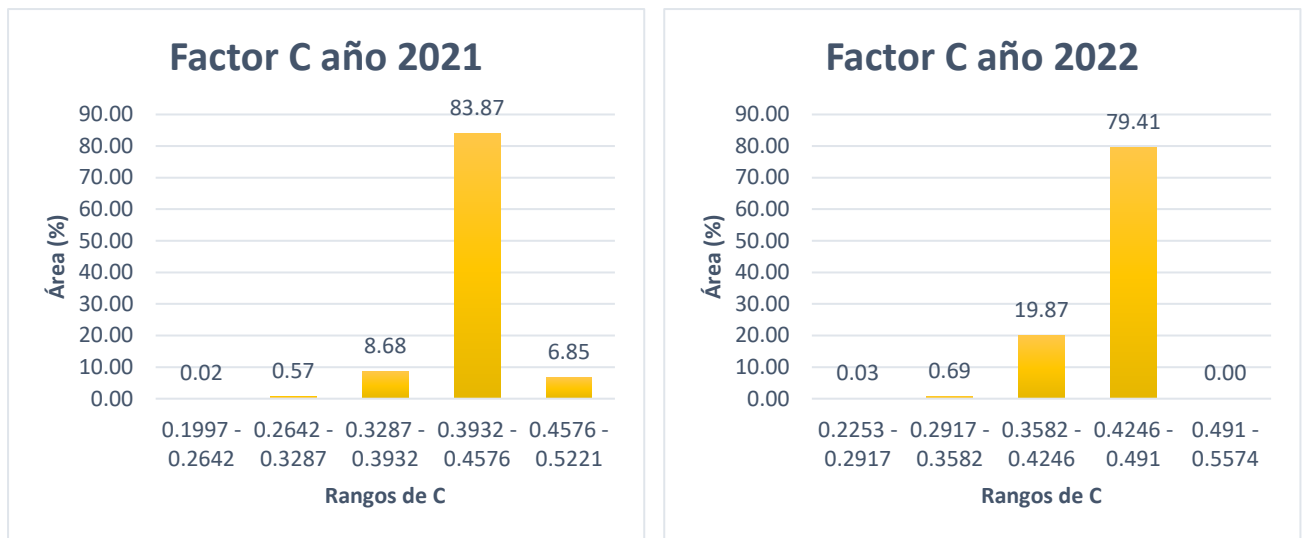
Clase	Rango	Área (Km2)	Área (%)
1	0.2253 - 0.2917	0.25	0.03
2	0.2917 - 0.3582	6.29	0.69
3	0.3582 - 0.4246	179.86	19.87
4	0.4246 - 0.491	718.97	79.41
5	0.491 - 0.5574	0.04	0.00

**Tabla 20: Rangos de valores de C periodo 2013 - 2022**

Fuente: Elaboración propia







**Ilustración 19:** Gráfico de valores del factor C periodo 2013 - 2022.  
**Fuente:** Elaboración propia

Puede notarse en la ilustración N°18 que muestra los gráficos del factor C durante el periodo 2013 – 2022 que el rango que predomina oscila entre los 0.3 hasta los 0.5, estos valores nos representan el tipo de protección que pueden ofrecer las diferentes coberturas de suelo contra el poder erosivo de la lluvia, por ello, el factor C se considera inversamente proporcional al NDVI puesto que zonas con un menor porcentaje de vegetación tendrán un valor más elevado de C mientras que, en zonas donde la cobertura de suelo sea más frondosa el valor de C reducirá considerablemente gracias a que las plantaciones tendrán una mejor capacidad de interceptación de las gotas de lluvia.

#### 4.1.5. FACTOR DE PRÁCTICAS DE CONSERVACIÓN DEL SUELO – “P”

Como ya se había mencionado, en la cuenca Casitas – Bocapán no existen medidas de protección para la conservación del suelo, por ende, el valor de P en esta investigación tomó el valor de “1”.

#### 4.1.6. EROSIÓN HÍDRICA

Obtenido cada uno de los factores se procedió a la cuantificación de la erosión hídrica utilizando la Ecuación Universal de la Pérdida de Suelos sobre cada una de las celdas, es necesario recalcar que el ráster de cada factor de la ecuación tiene una resolución de 30m x 30m, el resultado de la integración de estos factores para el cálculo de la erosión potencial y actual se muestra en los mapas EAP-01 y EP-01 respectivamente.

Los resultados obtenidos muestran valores de erosión hídrica actual que van hasta las 675.897 Tm/ha.Año con ello y haciendo uso de las herramientas de geoprocésamiento de ArcGIS se pudo clasificar los valores de erosión actual según Ramos (2001) obteniendo la siguiente tabla:

Clase	Rangos de Erosión (Tm/ha. Año)	Clasificación	Área (Km2)	Área (%)
1	< 5	Baja	633.642	69.983
2	5 - 25	Moderada	216.049	23.862
3	25 - 50	Media	37.523	4.144
4	50 - 100	Alta	16.584	1.832
5	100 - 200	Muy Alta	1.585	0.175
6	>200	Crítica	0.041	0.005

**Tabla 21:** Rangos de erosión hídrica actual en la cuenca Casitas Bocapán.

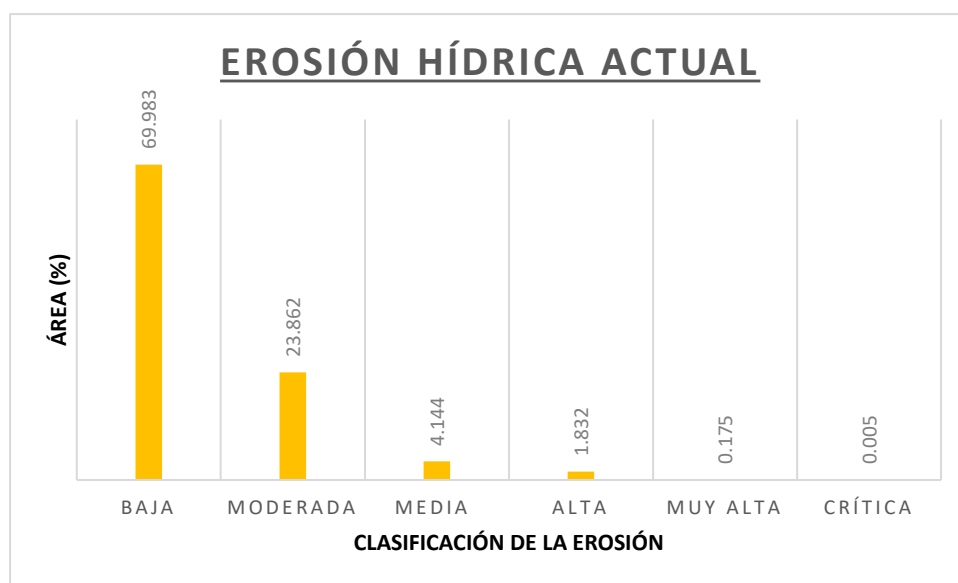
**Fuente:** Elaboración propia

Por otro lado, los resultados obtenidos para la erosión hídrica potencial llegan a un pico máximo de 1607.03 Tm/ha. Año., es necesario aclarar que este tipo de erosión solo toma en cuenta las variables R, K, L y S, los cuales fueron integrados haciendo uso de las herramientas de geoprocésamiento de ArcGIS, la tabla N°22 clasifica los rangos que existen en la cuenca:

Clase	Rangos de Erosión (Tm/ha. Año)	Clasificación	Área (Km2)	Área (%)
1	< 5	Baja	437.486	48.319
2	5 - 25	Moderada	329.805	36.426
3	25 - 50	Media	67.696	7.477
4	50 - 100	Alta	43.311	4.784
5	100 - 200	Muy Alta	22.966	2.536
6	>200	Crítica	4.161	0.460

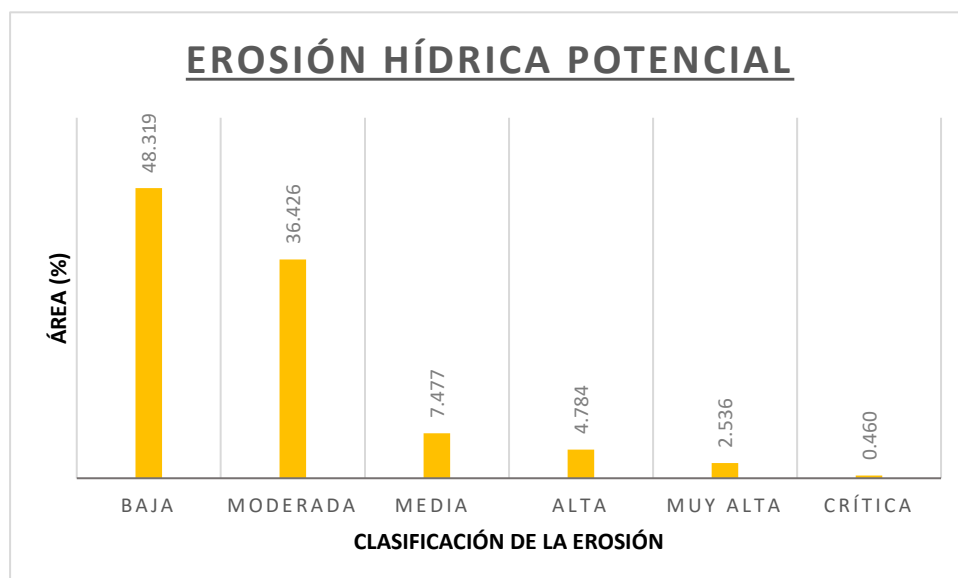
**Tabla 22:** Rangos de erosión hídrica potencial en la cuenca Casitas Bocapán

**Fuente:** Elaboración propia



**Ilustración 20:** Gráfico de rangos de erosión hídrica actual

**Fuente:** Elaboración propia



**Ilustración 21:** Gráfico de rangos de erosión hídrica potencial

**Fuente:** Elaboración propia

Por los resultados mostrados, puede verificarse que, en mayor porcentaje la erosión actual como la erosión potencial se encuentran en el rango de “erosión baja” con un 69.983% y 48.319% respectivamente, por otro lado, el nivel erosión crítica es casi nula en la erosión actual y en la erosión potencial solo ocurre en un 0.460 del porcentaje total de área que esta comprende.

## 4.2. DISCUSIÓN

Los valores de erosividad de la lluvia “R” calculados en esta investigación para la cuenca Casitas – Bocapán varían entre 318.97  $Mj*mm/Ha*Hr*Año$  hasta 3018.09  $Mj*mm/Ha*Hr*Año$  con un promedio de 927.4449  $Mj*mm/Ha*Hr*Año$ , en relación a ello, según el (SENAMHI, 2017) indica en sus mapas que la erosividad promedio para la región hidrográfica Pacífico 6 en la cual está incluida la cuenca Casitas – Bocapán va de 0 a 1000  $Mj*mm/Ha*Hr*Año$  lo que se asemeja en gran medida al valor promedio encontrado en esta investigación, por otro lado (Gamboa, 2023) obtiene un factor R semejante en las estaciones que se encuentran más cerca al área de influencia de la cuenca. Según el resultado de erosividad promedio y de acuerdo con la clasificación que propone (Rengifo et al, 2022) estaríamos en un rango de erosividad “Alto”, está sería una clasificación acorde a la realidad que se vive en el periodo lluvioso en el área de estudio ya que estas precipitaciones suponen una alta agresividad lo que guarda una estrecha relación con el factor R obtenido.

En cuanto al análisis del factor de erodabilidad del suelo (K), los resultados obtenidos varían en un rango de 0.02048 a 0.02531  $ton*ha*hora/ha*MJ*mm$ , en referencia a estos valores, (Castro, 2016) señala que uno de los factores más relevantes para la determinación del factor K es la textura del suelo debido a que existe una muy cercana relación entre la cohesión del material y su permeabilidad, por otro lado, muestra el triángulo de erodabilidad en el que se aprecia que los suelos con textura franco arcillo limoso, franco – arcillosa, franco arcillo arenosa, areno franca y arenosa poseen una erodabilidad media concordando esto con los resultados obtenidos puesto que en la cuenca predominan los suelos con este tipo de clase textural.

Por otro lado, el resultado del geoprocesamiento del factor topológico (LS) para la cuenca Casitas Bocapán muestra valores adimensionales que oscilan entre 0.3516 a 44.8332, según señala (Escobar, 2019), mientras más complejo se haga el factor topográfico disminuirá la estabilidad del material (suelo), por consiguiente en zonas donde exista un alto valor topológico y existan suelos de textura franco arcilloso arenoso la erosión puede aumentar significativamente. Por otro lado, de acuerdo con la clasificación de gradientes de pendientes que propone (AMEZQUITA, 1990) (Ver tabla N°16) en la cuenca Casitas Bocapán predominan las pendientes del tipo “Medianamente Escarpadas” con un 32.55% seguido de “Inclinado” y “Fuertemente Inclinado” con 21.07 % y 19.87 % respectivamente, con esto podemos inferir que la zona en estudio posee una topografía accidentada lo que favorecería a la erosión hídrica puesto que la escorrentía superficial aumentaría debido a la poca retención del agua por las altas pendientes lo que conllevaría a una remoción intensa de la capa superficial del suelo, favoreciendo a la erosión del mismo.

El factor C cumple una función muy importante dentro del estudio de la pérdida de suelos, ya que está directamente relacionado con la protección que brinda la vegetación frente a las precipitaciones que ocurren en un determinado periodo; la vegetación instalada en un área determinada actuará de manera positiva interceptando las gotas de lluvia que caen con gran fuerza, disminuyéndola y ayudando a que no impacten con el mismo potencial erosivo a la capa superficial del suelo. Los cálculos realizados en la cuenca Casitas – Bocapán respecto al NDVI indican que el tipo de “Vegetación Ligera” es la que predomina seguida de la “Vegetación mediana”, ver ilustración N°16 y N°17, puede evidenciarse también que la “Vegetación Alta” tiene una representación casi nula, lo que supone una escasa vegetación en el ámbito de la cuenca; además de que el mayor porcentaje del área tiene una cobertura vegetal de “Bosque seco” como lo indica el INGEMMET en su mapa de cobertura vegetal y uso de suelo para la región Tumbes. Por otro lado, los valores obtenidos para el factor “C” varían entre 0.280 a 0.558 con un promedio de 0.427, estando estos en un rango preocupante que puede responder a la débil vegetación que existe en esta cuenca siendo casi nula en gran parte de esta, esto puede deberse a los escenarios preocupantes por los que ha atravesado el distrito de casitas como sequías que pusieron en riesgo a



mas de 60,000 cabezas de ganado de la población por la falta de forraje y agua según lo indica (Céspedes, 2022).

En el presente estudio realizado para la cuenca Casitas – Bocapán se logró estimar una tasa promedio de erosión hídrica potencial de 13.423 Tn/ha/año (la erosión potencial no toma en cuenta al factor de cobertura vegetal) que de acuerdo con la clasificación que propone (Ramos, 2001) este valor se sitúa dentro de la clasificación de “Erosión Moderada” coincidiendo esta con la que otorga (SENAMHI, 2017) para la región hidrográfica pacífico 6 en que se encuentra la cuenca en estudio, por otro lado, se pudo determinar que en la parte baja de la cuenca predomina una erosión baja (< 5 tn/ha/año) con un porcentaje de incidencia del 48.31 %, seguido de la erosión moderada que principalmente se da desde la parte media a alta de la cuenca con una representación del 36.43 %, siendo estos rangos los más influyentes dentro del área. Con relación a la erosión actual, en la cual ya se toma en cuenta al factor de cobertura vegetal se determinaron valores de erosión con un promedio anual de 5.482 Tn/ha/año, este resultado es concordante al obtenido por (Gamboa, 2023) de 5.06 Tn/ha/año realizado para la cuenca del río Tumbes; con el valor promedio encontrado se clasifica a la erosión actual dentro del rango de “Moderada”; por otro lado, el mayor porcentaje de representación lo tiene el rango de “Erosión Baja” con 70.759 % seguido de la “Erosión Moderada” con un 23.285 %.

A través de estos resultados podemos ver la variación que sufre la erosión hídrica en función de la cobertura vegetal del suelo, se puede notar que cuando se toma en cuenta la vegetación existente la erosión disminuye considerablemente alertándonos de la importancia que tiene el factor “C” en el proceso de la degradación del suelo; con ello, se debería poner un especial énfasis en la fomentación de la conservación de la capa forestal del suelo que sirve de mucho en la protección frente a la fuerza erosiva de la lluvia.

## CAPITULO V

### 5. CONCLUSIONES

Se calculó la producción de sedimentos por erosión hídrica en la cuenca Casitas-Bocapán aplicando el método RUSLE mediante SIG, determinando un promedio de “Erosión Potencial” y “Erosión Actual” de 13.423 Tn/ha/año y 5.482 Tn/ha/año respectivamente.

Se cuantificó cada factor que conforma la ecuación RUSLE, obteniendo valores para el factor R que varían entre 318.97 Mj\*mm/Ha\*Hr\*Año hasta 3018.09 Mj\*mm/Ha\*Hr\*Año con un promedio de 927.4449 Mj\*mm/Ha\*Hr\*Año; el factor K fluctúa en un rango de 0.02048 a 0.02531 ton\*ha\*hora/ ha\*MJ\*mm valores que se encuentran en una clasificación de “Medianamente Erodable”; para el factor LS se determinó un valor mínimo de 0.3516 y un máximo de 44.8332 siendo las pendientes con la clasificación “Medianamente Escarpadas” las que poseen una mayor incidencia con un 32.55%; el factor “C” se sitúa dentro de un intervalo de 0.280 a 0.558 siendo el “Bosque Seco” la clase de cobertura vegetal con mayor presencia dentro del área de la cuenca, por último se tiene al factor de prácticas de conservación del suelo “P” al cual se le asignó el valor de 1 al no existir ningún tipo de prácticas en la cuenca Casitas Bocapán.

Mediante los Mapas EHA-01 y EHP-01 se logró realizar la representación espacial de la erosión hídrica en la cuenca Casitas – Bocapán permitiendo estos identificar la zonas con mayor potencial erosivo las cuales se sitúan principalmente en las partes más altas y con mayor grado de pendiente.

## CAPITULO VI

### 6. RECOMENDACIONES

Es de vital importancia contar con información pluviométrica disponible para realizar un análisis de la erosión con la metodología RUSLE por lo que se recomienda la instalación de más estaciones meteorológicas en la zona ya que ello nos permitirá realizar cálculos que se ajusten mucho más a la realidad.

Es necesario mantener la cobertura vegetal, por ello se recomienda un plan de forestación de la cuenca, así como evitar la tala de árboles principalmente en las zonas que se han determinado con mayor riesgo, ya que así disminuiríamos el riesgo de erosión hídrica gracias a que las plantas serán quienes reduzcan la fuerza erosiva de las gotas de lluvia.

La sensibilización a la población sobre los problemas que puede ocasionar la erosión del suelo es una medida a largo plazo que se recomienda, crear una cultura en la que se fomente un especial cuidado a los recursos natural y en especial el recurso suelo.

Implementar las prácticas de conservación del suelo ya que actualmente no se cuenta con ninguna de estas.

A través de los mapas de Erosión Potencial y Erosión Actual se pueden apreciar las zonas con mayor riesgo de erosión por acción de la lluvia, ello servirá como base técnica para posibles proyectos que se quieran realizar en la zona tales como ordenamiento territorial.

El presente estudio puede tomarse como referencia para gobiernos locales, provinciales y regionales para proyectos que impliquen conocer la problemática con respecto a la erosión del suelo, también servirá como referencia a estudios similares que se realicen en la región.

## CAPITULO VII

### 7. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- AMEZQUITA, E. (1990). *El agua y la erodabilidad de los suelos. En: Fundamentos para la interpretación de análisis de suelos, plantas y aguas para riego. Memorias del Seminario Taller Sociedad Colombiana de la Ciencia del Suelo, Santa Fé de Bogotá. 1990.*
- Castro R, R. (2016). *Evaluación de impactos de riesgos de activación de procesos erosivos.*
- Céspedes, G. (08 de Noviembre de 2022). Ganaderos piden dotación de forraje o alimento para sus animales ante la falta de agua y pastos. *Hechicera.*
- Escobar Valdebenito , D. I. (2019). *Estimación de la erosión hídrica en zona semiárida del norte chileno mediante la ecuación universal de pérdida de suelo (USLE): El caso de Punitaqui (IV región de Coquimbo).* Santiago de Chile.
- FAO. (2009). *Guía para la descripción de suelos.* Roma.
- Fernández, F. (30 de 03 de 2015). Tumbes: Puente Francos a punto de colapsar. *El Correo.* Obtenido de <https://diariocorreo.pe/edicion/tumbes/tumbes-puente-francos-a-punto-de-colapsar-576070/?ref=dcr>
- FLORES, A. (2015). *Aproximación de riesgo por erosión hídrica aplicando un sistema de información geográfica en la subcuenca Shambillo, distrito de Padre Abad.*
- Gamboa, C. A. (2023). *"Estimación de la erosión hídrica aplicando la metodología RUSLE con técnicas de teledetección en la cuenca del río Tumbes 2000 - 2022".* Tumbes.
- Goyburo Peña, Á. (2017). *Monitoreo y caracterización del transporte de sedimentos durante crecidas o eventos extremos de El Niño en el Río Tumbes.* Universidad Nacional Agraria La Molina , Lima.
- López, A., Martínez, M., & Fernández, D. (2015). *Priorización de áreas de intervención mediante análisis morfométrico e índice de vegetación.*

- Nájera Gonzáles, O., Bojórquez Serrano, J., Flores Vilchez, F., Murray Núñez, R., & Gonzáles García-Sancho, A. (2016). *Riesgo de erosión hídrica y estimación de pérdida de suelo en paisajes geomorfológicos volcánicos en México*. La Habana.
- OIEA. (2020). *Organismo Internacional de Energía Atómica*. Obtenido de <https://www.iaea.org/es/temas/control-de-la-erosion-del-suelo>
- Ramos Taipe, C. L. (2001). *Modelamiento ambiental para analisis de susceptibilidad erosiva en la cuenca media y alta del rio cañete y determinación del mapa de erosión*.
- Rengifo Rengifo, I. Y., Muloz Gomez, F. A., & Toro Trochez, O. A. (2022). Modelo USLE para estimar la erosión hídrica en siete municipios de la zona andina colombiana. *Bioteχνología en el sector agropecuario y agroindustrial*, 34.
- Rivera Ruiz, P., Oropeza Mota, J. L., Martínez Menes, M. R., Mejía Sáenz, E., Tapia Vargas, L. M., & Ventura Ramos, E. (2012). *El proceso lluvia-escurrimiento-erosión en laderas y microcuencas instrumentadas*.
- SENAMHI. (2017). *Atlas de erosión de suelos por regiones hidrográficas del Perú*. Lima.
- Villón, B. M. (2006). *Hidrología Estadística*. Lima: Ediciones Villón.

## CAPITULO VIII

### 8. ANEXOS

Anexo 01: Data de precipitación acumulada mensual y anual de las estaciones meteorológicas utilizada en la investigación.

Estación meteorológica Cañaverál: precipitación acumulada mensual anual. enero de 2000 a diciembre de 2022.													
ESTACION:	CAÑAVERAL					LATITUD:	3°56'20.75" S					OPTO.	TUMBES
Nº DE REGISTROS:	23 AÑOS					LONGITUD:	80°39'2.1" w					PROV.	C.M.V.Z
PERIODO:	2000 - 2022					ALTITUD:	133 m.s.n.m					DIST.	CASITAS
AÑO	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SET	OCT	NOV	DIC	TOTAL
2000	1.14	74.73	61.05	100.44	26.22	3.52	0	0	0	0	0	5.53	272.63
2001	115.57	104.09	335.28	72.9	1.53	0	0	0	0	0	2.08	2.72	634.16
2002	12.47	184.98	410.33	240.2	1.68	0	0	1.18	0.51	0.48	0.01	1.83	853.68
2003	22.62	56.64	14.15	42.29	0.66	0.19	0.05	0	0	0	0.01	12.54	149.13
2004	3.22	78.22	37.93	23.55	1.81	0	0.07	0	0	5	0	0	149.8
2005	2.11	9.36	48.07	12.23	0.01	0.03	0	0	0	0	0.2	2.01	74.02
2006	29.04	235.47	61.36	4.79	0.03	1.19	0.06	0	0	0	0.35	1.89	334.18
2007	61.96	3.5	143.66	19.56	0.02	0	0	0	0	0	0.08	0.24	229.03
2008	124.74	301.04	126.37	8.18	0.51	0.11	0.92	0	0	2.22	0.08	0	564.17
2009	230.86	122.97	103.6	38.54	3.28	3.58	0	0	0	0	6.35	5.03	514.2
2010	46.46	134.79	147.78	75.2	0.17	0.04	0.59	0	0	0.01	0.02	2.71	407.78
2011	7.88	62.81	0.11	105.69	0.16	0.02	11.38	0	0	0.02	0.1	4.01	192.18
2012	71.17	213.37	296.68	94.05	16.64	0.26	0.03	0	0	0.02	0.77	0.11	693.1
2013	22.23	34.53	159.69	5.65	6.27	0	0.01	0	0	1.01	0	0.13	229.52
2014	14.9	43.99	7.36	4.98	25.36	0.46	0.03	0	0	1.58	0	0.24	98.9
2015	7.16	44.49	290.36	119.42	37.54	3.44	0.08	0	0	0.34	0.62	9.73	513.18
2016	21.42	124.27	217.36	106.05	0.04	2.56	0	0.16	0	0	0	1.43	473.3
2017	137.7	21.42	65	121.2	0	0	0	0	0	0	0	0.3	324.2
2018	9.4	6.1	18.7	1.7	19.5	0	0	0	0	0	42.6	20.7	118.7
2019	21.3	157.1	109.2	56.4		4.4	0.6	0.2	0	0	0.2	59.4	408.8
2020	58.8	38.3	68.3	4.5	0.2	1	0.1	0	0	0.2	0	15.6	187
2021	9.4	1.1	110.2	35.1	7.8	2.3	0.1	0.1	0.2	0.1	0.1	1.1	167.6
2022	4.3	6.1	11.9	11	1.4	0.2	0.1	0.1	0	0.1	0	11.9	47.1
PROMEDIO	45.0	89.5	123.7	53.8	6.9	1.0	0.6	0.1	0.0	0.5	2.3	6.9	332.0
MAXIMO	230.9	301	410.3	240.2	37.5	4.4	11.4	1.2	0.05	5	42.6	59.4	853.7
MINIMO	1.1	1.1	0.1	1.7	0	0	0	0	0	0	0	0	47.1
DESVIACION	57.41	83.63	114.46	58.05	10.88	1.47	2.36	0.25	0.11	1.14	8.88	12.78	218.66

FUENTE: (Gamboa, 2023)

Estación meteorológica El Tigre: precipitación acumulada mensual anual. enero de 2000 a diciembre de 2022.														
ESTACION:	EL TIGRE					LATITUD:	3°48'8.4" S				OPTO.	TUMBES		
Nº DE REGISTROS:	23 AÑOS					LONGITUD:	80°27'24" w				PROV.	TUMBES		
PERIODO:	2000 - 2022					ALTITUD:	45 m.s.n.m				DIST.	SAN JACINTO		
AÑO	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SET	OCT	NOV	DIC	TOTAL	
2000	3.2	111.8	134	112.9	101.4	6	0.3	0	0.6	0	0	9.9	480.1	
2001	63.2	53.3	300.7	68.9	11.9	1.2	0	0	0	0	4	8.1	51.130	
2002	7.8	198.3	338.3	213.6	3.3	0	0	0	0.8	0.6	0	23.2	785.9	
2003	96.9	81.8	37.2	10.5	0.4	2.5	3.2	1	0.8	0	0	14.8	249.1	
2004	10.9	124.1	53.3	72.5	5.6	0	2.2	0	1	1.5	0.4	0.7	272.2	
2005	1.1	17.4	102.9	17.9	0.2	0	0	0.9	0	1.9	3.1	3.1	148.5	
2006	53.5	306.5	112.1	5	0.7	1.3	1.5	1.5	2.4	0.7	4	5.5	494.7	
2007	94.55	8.5	90.9	43.4	1.2	0	1.4	0.8	1.1	1	5.1	4.2	252.15	
2008	138.2	328.7	181.1	58	12.7	2.9	0.7	0.5	1.3	2.7	2.6	0	729.4	
2009	191.52	200.3	89	5.8	2.3	0.8	0.2	1.6	1.5	0.8	0.8	0.8	495.42	
2010	94.7	178.1	218.1	121.8	5.1	5	2.7	0.3	0.9	0.3	1.1	6.6	634.7	
2011	45.7	64	3.4	114.8	0.4	1.4	1.3	0.1	0.6	0.4	1.2	9.8	243.1	
2012	135.9	280.5	190.3	112.3	24.8	1070	0.4	0.3	0.1	2	4.4	3.5	765.2	
2013	28.3	54.42	150.9	8.7	6.2	0.8	1.3	1	0.3	5.8	0.1	2.6	260.42	
2014	85.5	54.82	12.1	7.2	51	22.1	1.7	2	1.2	6.1	1.1	15.8	260.62	
2015	25.7	114.7	344.4	180.6	109.4	3.8	4	0.7	0	7.4	4	3.8	798.5	
2016	33	327.3	247.7	129.3	0.6	6.8	0	0.6	0	0.4	0.6	11	757.3	
2017	144.9	276.3	326.8	249.71	111.4	3.5	0.7	2.4	1.2	3.1	0	0.3	1120.31	
2018	34.1	113.6	4.4	0.5	24.7	0	0.3	0.5	0.5	0.3	0.8	65.5	245.2	
2019	108.6	212.3	229.6	108.8	3.1	0.5	1.2	1.4	0	0.9	3.5	32.3	702.2	
2020	13.8	118.5	140.6					0	0	0.3	0.5	17.5	291.2	
2021	67.2	37.3	192.3	44.1	13.9	1.5	0.1	0.7	0.2	4.8	2.1	5.5	369.7	
2022	13.3	12.1	64	18.6	2.2	3.5	0.9	0.6	0	1.3	0.1	1.6	118.2	
PROMEDIO	64.9	142.4	155.0	77.5	22.4	51.5	1.1	0.7	0.6	1.8	1.7	10.7	477.6	
MÁXIMO	191.5	328.7	344.4	249.7	111.4	22.1	4	2.4	2.4	7.4	5.1	65.5	1120.3	
MÍNIMO	1.1	8.5	3.4	0.5	0.2	0	0	0	0	0	0	0	118.2	
DESVIACION	53.36	105.24	107.44	71.9	36.57	4.98	1.11	0.67	0.63	2.17	1.71	14.4	264.98	

FUENTE: (Gamboa, 2023)

Estación meteorológica La Cruz: precipitación acumulada mensual anual. enero de 2000 a diciembre de 2022.														
ESTACION:	LA CRUZ				LATITUD:	3°37'41.85" S				OPTO.	TUMBES			
Nº DE REGISTROS:	23 AÑOS				LONGITUD:	80°34'9.36" w				PROV.	TUMBES			
PERIODO:	2000 - 2022				ALTITUD:	6 m.s.n.m				DIST.	LA CRUZ			
AÑO	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SET	OCT	NOV	DIC	TOTAL	
2000	14.7	38.4	51.8	54.4	58.1	1.9	0.1	0.9	0.7	0	0	1.8	222.80	
2001	24.7	35.2	215.5	37.3	5.2	0	0.9	0.8	0.8	0	2.8	2.2	325.40	
2002	4.7	159.6	187.1	79.4	0.7	0	0	0	0.6	1.6	0.3	5.9	439.90	
2003	25.3	22.4	13.9	13.7	0.7	0.7	2.2	0.3	0.7	0	0.4	15.6	95.90	
2004	13.2	50.6	16.4	38.8	9.8	0.1	0.9	0	0.6	0.1	0	0.5	131.00	
2005	9.9	8.6	49	2.2	0.3	0.7	0	0.1	0	2.3	4.7	3.3	81.10	
2006	21.1	186.8	117.2	2.9	0	0	1.3	0.6	0.1	0	3.8	6.3	340.10	
2007	54.9	0.6	98.8	9	2.2	0	0.1	1.7	0	1.6	3.1	1.7	173.70	
2008	116	271.5	117.1	13.6	0.6	0.6	0.1	0	1.5	0.1	0.9	0	522.00	
2009	87.6	168.6	12.6	8.1	2.8	0	0	0.2	2.5	0.2	2	1.2	285.80	
2010	10	123.1	143.8	90.1	0.6	1.8	0.2	0	0	0.2	1.4	1.5	372.70	
2011	5.2	72.7	2.3	37.4	1.1	0.2	3.5	1.7	0	0.1	0.7	0.6	125.50	
2012	34.9	127.9	79.5	56.9	11.6	5.8	0	0.1	0.1	1	1.5	0.6	319.90	
2013	19.4	40.4	114.4	13.6	2.6	2.2	0.9	0	0.1	1.9	0	3.8	199.30	
2014	37.7	17.1	6.8	4.4	29.4	7.4	0.4	0.5	0.6	5.6	0	4.3	114.20	
2015	3.9	37.4	215.2	55.6	21.2	0	1.3	0.2	0	8.2	1.3	0	344.30	
2016	17.45	95.9	175.71	52.43	0.02	1.88	0.34	0.13	0.33	0.06	0	2.23	346.48	
2017	121.3	77.4	405	85.4	34.5	1	0.1	0.8	0.5	1.2	0.7	1	728.90	
2018	12.1	45.5	1	0.2	16.5	0	0.3	0.2	0	0.3	0.4	43	119.50	
2019	18.6	103.4	25.8	39.9	0	0	0	1.1	0	2.1	0.3	8.9	200.10	
2020	11.6	82.1	62.3					0.2		0	0.1	14.2	170.50	
2021	30.1	12.9	67.2	40.9	6.4	0.1	0	0.1	0	1.2	1	0.1	160.00	
2022	7.7	17.5	35.8	11.7	0.2	0	0	0.1	1.1	2	0.5	0.5	77.10	
PROMEDIO	30.5	78.1	96.3	34.0	9.3	1.1	0.6	0.4	0.5	1.3	1.1	5.2	258.33	
MAXIMO	121.3	271.5	405	90.1	58.1	7.4	3.5	1.7	2.5	8.2	4.7	43	1017.00	
MINIMO	3.9	0.6	1	0.2	0	0	0	0	0	0	0	0	5.70	
DESVIACION	33.5	68.58	96.03	28.25	14.75	1.94	8.8	0.52	0.62	1.98	1.32	9.28	265.57	

FUENTE: (Gamboa, 2023)



Estación meteorológica Virtual 01: precipitación acumulada mensual anual. enero de 1981 a diciembre de 2019.														
ESTACION:	VIRTUAL 01					LATITUD:		3°44'54.6" S			OPTO.		TUMBES	
Nº DE REGISTROS:	39 AÑOS					LONGITUD:		80°38'60" w			PROV.		CONT. VILLAR	
PERIODO:	1981 - 2019					ALTITUD:		106 m.s.n.m			DIST.		ZORRITOS	
AÑO	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SET	OCT	NOV	DIC	TOTAL	
1981	13.49	23.73	53.26	9.58	0.44	0	0	0.59	0.1	0	0.01	1.11	102.31	
1982	7.32	1.54	0.07	9.6	0.74	0	0	0	0.38	0.26	1.17	14.07	35.15	
1983	263.12	98.4	182.1	366.34	176.55	19.19	11.92	0	0.52	0.31	0	7.46	1125.91	
1984	7.89	90.88	36	2.24	2.05	0.5	0	0.17	0.16	0.24	0.54	2.57	143.24	
1985	5.83	11.12	22.41	5.4	1.8	0	0	0.05	0.26	0.09	0.22	6.79	53.97	
1986	23.77	24.44	0.26	15.8	3.85	0	0	0.75	0.23	0	0.45	11.02	80.57	
1987	41.33	154.6	85.18	18.88	4.75	0	0.47	0.33	0.3	0	0	0.72	306.56	
1988	31.54	19.93	2.66	11.63	4.75	0	0.01	0.08	0.11	0	0.42	2.29	73.42	
1989	57.15	92.02	64.32	18.04	2.68	0.39	0	0.26	0.13	0	0	0	234.99	
1990	9.96	15.83	15.23	4.35	1.37	0.09	0	0.2	0.07	0.48	0.89	9.02	57.49	
1991	9.43	24.97	53.44	7.46	5.22	0	0	0	0.02	0	0.16	3.06	103.76	
1992	17.64	96.47	263.92	100.21	51	0.06	0	0.08	0.17	0.07	0.17	2.96	532.75	
1993	17.59	96.97	98.04	28.74	12.42	0.3	0.02	0.54	0.31	0.21	0	2.28	257.42	
1994	60.65	37.3	36.71	18.96	3.37	0	0.17	0.18	0.45	0	0.16	7.73	165.68	
1995	22.38	48.56	22.45	3.35	3.05	0	0.47	0.13	0.12	0.23	1.57	4.83	107.14	
1996	12.53	32.37	20.52	4.79	2.25	0	0	0.17	0.14	0.28	0.19	1.26	74.5	
1997	8.85	19.76	70.46	26.79	6.77	4.05	0.67	0.48	7.3	2.99	31.03	140.98	320.13	
1998	367.78	373.43	325.02	188.2	65.61	1.58	0.93	0.09	0.19	0.83	0.16	3.83	1327.65	
1999	16.27	56.36	87.04	28.86	14.18	0.25	0.18	0	0.51	0.5	0	7.71	211.86	
2000	9.19	34.76	45.76	45.47	28.12	1.79	0	0.42	0.23	0	0	3.08	168.82	
2001	32.87	32.51	175.29	36.12	3.22	0	0.05	0.26	0.31	0	1.51	1.82	283.96	
2002	7.97	95.2	176.51	81.48	1.64	0	0	0.36	0.48	1.39	0.11	6.18	371.32	
2003	19	24.33	12.26	12.48	1.55	0.31	0.32	0.22	0.27	0	0.07	8.04	78.85	
2004	10.85	33.33	17.08	19.58	3.13	0	0.31	0.08	0.58	1.16	0	0.42	86.52	
2005	8.98	6.45	42.86	6.9	0.11	0.06	0	0.06	0	0.56	0.83	2.13	68.94	
2006	25.29	92.54	68.34	3.93	0.33	0.09	0.27	0.29	0.2	0	1.16	2.37	194.81	
2007	57.86	2.85	78.28	9.5	2.43	0	0	0.54	0.06	0.2	0.78	1.3	153.8	
2008	122.9	126	84.91	5.58	0.39	0	0.21	0.02	0.49	0.72	0.23	0.04	341.49	
2009	161.39	76.33	23.82	10.99	2.51	0.45	0	0.2	0.76	0	1.69	2.65	280.79	
2010	21.81	83.48	114.38	38.42	1.56	0	0.11	0	0	0	0.16	2.35	262.27	
2011	16.05	40.14	1.44	52.28	1.2	0.1	3.47	0	0.06	0	0.18	1.55	116.47	
2012	52.55	106.88	66.39	34.8	5.04	0.98	0	0	0.06	0.07	0.65	1.4	268.82	
2013	26.55	25.65	88.82	8.9	4.77	0.09	0.1	0.14	0.06	1.05	0	2.6	158.73	
2014	30.47	19.83	7.87	6.31	20.19	2.33	0.32	0.24	0.26	0.87	0.15	2.11	90.95	
2015	12.52	32.32	175.26	75.77	24.2	2.15	0.27	0.21	0.03	1.61	0.86	4.46	329.66	
2016	27.75	95.66	128.31	54.93	0.51	1.22	0	0.63	0.3	0	0	3.7	313.01	
2017	127.78	112.37	305.72	65.12	27.59	0.29	0	0.48	0.43	0.16	0	0.66	640.6	
2018	36.72	30.95	3.69	0.47	10.56	0	0	0.13	0.03	0	0.17	22.22	104.94	
2019	29.61	95.99	83.43	25.56	1.87	0	0	2.4	0.06	0.24	0.68	15.46	255.3	
<b>PROMEDIO</b>	<b>46.99</b>	<b>63.75</b>	<b>80.50</b>	<b>37.53</b>	<b>12.92</b>	<b>0.93</b>	<b>0.52</b>	<b>0.28</b>	<b>0.41</b>	<b>0.37</b>	<b>1.19</b>	<b>8.06</b>	<b>253.45</b>	
<b>MÁXIMO</b>	<b>367.78</b>	<b>373.43</b>	<b>325.02</b>	<b>366.34</b>	<b>176.55</b>	<b>19.19</b>	<b>11.92</b>	<b>2.40</b>	<b>7.30</b>	<b>2.99</b>	<b>31.03</b>	<b>140.98</b>	<b>1327.65</b>	
<b>MÍNIMO</b>	<b>5.83</b>	<b>1.54</b>	<b>0.07</b>	<b>0.47</b>	<b>0.11</b>	<b>0.00</b>	<b>0.00</b>	<b>0.00</b>	<b>0.00</b>	<b>0.00</b>	<b>0.00</b>	<b>0.00</b>	<b>35.15</b>	
<b>DESVIACION</b>	<b>72.96</b>	<b>64.54</b>	<b>82.26</b>	<b>64.67</b>	<b>30.28</b>	<b>3.12</b>	<b>1.96</b>	<b>0.40</b>	<b>1.15</b>	<b>0.60</b>	<b>4.93</b>	<b>22.34</b>	<b>265.62</b>	

FUENTE: Producto grillado PISCO - SENAMHI

Estación meteorológica Virtual 02: precipitación acumulada mensual anual. enero de 1981 a diciembre de 2019.														
ESTACION:		VIRTUAL 02				LATITUD:		3°45'0.018" S			OPTO.		TUMBES	
Nº DE REGISTROS:		39 AÑOS				LONGITUD:		80°44'60" w			PROV.		TUMBES	
PERIODO:		1981 - 2019				ALTITUD:		45 m.s.n.m			DIST.		SAN JACINTO	
AÑO	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SET	OCT	NOV	DIC	TOTAL	
1981	11.26	25.52	65.32	10.11	1.92	0.37	0.25	1.03	0.21	0.12	0.63	4.93	121.67	
1982	9.07	3.72	0.8	8.28	2.43	0.16	0.03	0.13	0.61	0.64	2.07	21.02	48.96	
1983	163.84	119.33	213.14	359.6	150.9	19.59	13.02	0.11	0.57	0.46	0.42	12.79	1053.77	
1984	11.78	94.5	40.24	2.69	4.69	1.15	0.23	0.4	0.22	0.59	1.56	6.3	164.35	
1985	4.96	15.4	26.02	5.72	3.99	0.41	0.24	0.1	0.46	0.24	0.81	16.29	74.64	
1986	19.2	22.96	0.47	14.4	7.75	0	0.27	0.92	0.42	0.05	1.12	18.09	85.65	
1987	31.56	176.07	92.73	16.9	7.4	0.22	1.17	0.37	0.35	0.27	0.51	2.7	330.25	
1988	25.23	22.22	3.14	12.94	8.85	0	0.45	0.23	0.2	0.09	1.15	6.05	80.55	
1989	37.95	104.18	80.45	17.26	4.08	0.8	0.17	0.42	0.18	0	0.03	0.5	246.02	
1990	8.81	15	18.32	4.18	3.06	0.61	0.24	0.4	0.16	0.4	1.89	14.06	67.13	
1991	9.2	23.73	57.38	8.86	7.53	0.19	0.01	0.12	0.1	0.13	0.81	5.78	113.84	
1992	12.8	104.61	257.35	81.5	45.1	0.55	0.17	0.35	0.24	0.34	0.6	5.22	508.83	
1993	16.5	113.68	120.99	25.96	15.86	0.77	0.38	0.91	0.39	0.53	0.58	4.37	300.92	
1994	42.23	33.53	38.45	15.86	6.35	0.23	0.51	0.32	0.48	0.1	0.75	13.7	152.51	
1995	16.98	54.86	26.52	3.48	5.39	0.02	1.08	0.2	0.27	0.54	2.44	11.27	123.05	
1996	11.93	34.26	25.04	4.68	6.06	0.04	0.2	0.45	0.23	0.6	0.88	2.94	87.31	
1997	10.19	25.09	87.78	22.36	9.85	5.58	0.94	0.8	6.56	3.42	42.61	246.21	461.39	
1998	299.15	442.42	424.79	169.69	73.68	2.59	1.43	0.22	0.28	1.07	0.92	9.37	1425.61	
1999	16.66	70.03	94.49	19.18	19.15	0.59	0.62	0.12	0.61	0.93	0.4	15.36	238.14	
2000	9.63	39.65	48.13	37.38	39.93	2.61	0.22	0.59	0.28	0.08	0.19	6.87	185.56	
2001	25.79	33.32	202.07	34.08	6.89	0.08	0.48	0.49	0.38	0.21	2.2	4.39	310.38	
2002	8.57	87.53	202.03	70.46	4.57	0.05	0.34	0.66	0.6	1.87	0.94	9.91	387.53	
2003	15.14	29.49	13.68	12.74	4.29	0.62	0.43	0.42	0.36	0.01	0.52	13.58	91.28	
2004	8.88	36.78	19.82	15.3	5.65	0.14	0.79	0.33	0.64	1.73	0.5	1.99	92.55	
2005	9.1	9.42	55.94	6.08	1.39	0.24	0.03	0.17	0.11	0.7	1.17	4.63	88.98	
2006	19.82	74.17	93.65	3.77	1.79	0.46	0.55	0.39	0.24	0.07	1.43	4.62	200.96	
2007	41.75	3.66	88.9	7.74	5.65	0	0.18	0.52	0.14	0.36	1.03	3.5	153.43	
2008	98.95	115.11	104.81	4.19	1.73	0.14	0.6	0.2	0.53	1.15	0.76	1.25	329.42	
2009	113.7	82.17	42.41	11.53	5.12	1.11	0.32	0.37	0.78	0.12	2.78	5.89	266.3	
2010	17.45	95.78	118.92	30.86	3.28	0.1	0.58	0.05	0.02	0.04	0.36	5.92	273.36	
2011	11.85	40.8	2.19	47.91	3.41	0.36	4.77	0.14	0.19	0	0.66	3.59	115.87	
2012	35.79	125.8	72.82	38.06	8.59	1.25	0.27	0.11	0.16	0.28	1.31	2.99	287.43	
2013	22.68	29	106.77	8.11	6.52	0.48	0.55	0.46	0.17	1.3	0.15	6.55	182.74	
2014	21.56	22.98	11.47	6.71	14.97	1.94	0.69	0.42	0.39	0.91	0.64	3.7	86.38	
2015	10.37	33.97	205.48	68.95	16.88	2.91	0.66	0.41	0.19	1.56	1.56	7.98	350.92	
2016	21.4	115.81	150.11	46.56	1.64	1.47	0.4	0.67	0.42	0.2	0.66	7.38	346.72	
2017	91.77	146.72	377.37	52.92	24.34	0.62	0.25	0.6	0.58	0.47	0.48	2.51	698.63	
2018	26.38	32.61	5.95	0.72	12.02	0.24	0.41	0.35	0.13	0.23	0.85	31.43	111.32	
2019	23.06	116.94	108.69	18.08	4.56	0.21	0.38	2.14	0.18	0.5	1.39	24.81	300.94	
PROMEDIO	35.72	71.10	94.99	33.99	14.29	1.25	0.88	0.44	0.49	0.57	2.05	14.63	270.39	
MÁXIMO	299.15	442.42	424.79	359.60	150.90	19.59	13.02	2.14	6.56	3.42	42.61	246.21	1425.61	
MÍNIMO	4.96	3.66	0.47	0.72	1.39	0.00	0.01	0.05	0.02	0.00	0.03	0.50	48.96	
DESVIACION	54.43	75.75	98.23	61.94	26.46	3.20	2.13	0.37	1.01	0.68	6.70	38.66	271.56	

FUENTE: Producto grillado PISCO - SENAMHI

Estación meteorológica Virtual 03: precipitación acumulada mensual anual. enero de 2000 a diciembre de 2022.													
ESTACION:	VIRTUAL 03				LATITUD:	3°57'0.018" S				OPTO.	TUMBES		
Nº DE REGISTROS:	39 AÑOS				LONGITUD:	80°44'60" w				PROV.	CONT. VILLAR		
PERIODO:	1981 - 2019				ALTITUD:	287 m.s.n.m				DIST.	ZORRITOS		
AÑO	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SET	OCT	NOV	DIC	TOTAL
1981	7.05	25.34	32.02	7.53	0.04	0	0	0	0	0	0	0.43	72.41
1982	6.2	2.49	0.04	8.66	0.33	0	0	0	0	0.1	0.7	14.16	32.68
1983	193.37	140.03	158.53	387.59	128.35	9.32	6.52	0	0	0.02	0	10.64	1034.37
1984	1.31	115.83	32.25	1.89	0.65	0	0	0	0	0.07	0.04	2.58	154.62
1985	2.53	13.89	16.86	4.35	1.04	0	0	0	0	0	0	2.61	41.28
1986	14.19	30.5	0	16.09	1.39	0	0	0	0	0.24	0	8.81	71.22
1987	21.49	182.15	76.13	16.95	4.33	0	0.2	0	0	0	0	1.05	302.3
1988	21.07	17.94	1.64	9.85	3.5	0	0	0	0	0	0	2.09	56.09
1989	21.12	101.58	49.22	22.42	1.01	0.08	0	0	0	0	0	0	195.43
1990	4.94	15.19	13.27	3.65	0.81	0	0	0	0	0.2	0.5	7.43	45.99
1991	3.48	32.12	35.42	5.15	3.2	0	0	0	0	0	0	2.38	81.75
1992	11.6	81.29	169.33	95.44	52.44	0.08	0	0	0	0	0	2.79	412.97
1993	6.89	108.72	70.77	28.64	6.88	0.38	0	0	0	0.06	0	1.69	224.03
1994	45.23	46.48	27.87	9	3.44	0	0	0	0	0	0	8.46	140.48
1995	6.04	38.79	12.2	4.05	1.45	0	0.38	0	0	0	0.38	7.35	70.64
1996	3.17	18.17	18.57	3.12	0.87	0	0	0	0	0.04	0	0.89	44.83
1997	6.55	19.03	53.04	21.88	3.97	3.99	0.1	0	3.84	2.16	24.11	303.96	442.63
1998	274.29	482.25	275.98	212.87	66.99	1.87	0.04	0	0.29	0.29	0	3.38	1318.25
1999	13.09	96.64	59.35	23.85	15.08	0	0	0	0	0.22	0	1.74	209.97
2000	3.73	45.43	32.93	39.21	14.14	1.27	0	0	0	0	0	4.26	140.97
2001	38.71	47.71	167.93	40.94	1.45	0	0	0	0	0	0.96	1.85	299.55
2002	6.18	83.44	175.49	123.09	1.34	0	0	0.42	0.03	1.11	0.11	4.08	395.29
2003	9.29	34.89	7.43	11.22	0.84	0	0	0	0	0	0	6.7	70.37
2004	3.08	41.93	17.31	9.6	0.42	0	0.06	0	0	2.06	0	0.37	74.83
2005	2.02	8.33	32.95	5.04	0	0	0	0	0	0	0	1.4	49.74
2006	13.9	96.08	38.73	3.09	0.12	0.13	0	0	0	0	0	1.99	154.04
2007	26.16	2.93	67.95	7.55	0.58	0	0	0	0	0	0.03	0.63	105.83
2008	57.04	153.69	73.05	3.84	0.03	0	0.36	0	0	0.59	0	0.15	288.75
2009	111.97	86.86	54.99	12.65	1.78	2.07	0	0	0	0	1.96	3.56	275.84
2010	15.68	87.3	78.27	28.06	0.77	0	0.17	0	0	0	0	2.38	212.63
2011	7.35	34.4	0.25	42.19	0.35	0	5.62	0	0	0	0	1.88	92.04
2012	25.09	148.32	101.51	52.89	4.19	0	0	0	0	0	0.32	1.02	333.34
2013	13.01	21.33	77.46	3.22	6.32	0	0	0	0	0.28	0	1.91	123.53
2014	11.77	22.56	5.8	3.86	18.28	0.07	0	0	0	0.85	0	0.66	63.85
2015	5.93	24.54	119.59	53.7	22.16	3.49	0	0	0	0.2	0.36	5.77	235.74
2016	11.53	84.82	111.39	62.09	0.5	0.4	0	0	0	0	0.05	3.38	274.16
2017	77.31	169.27	235.73	48.73	20.65	0	0	0	0	0.03	0	0.67	552.39
2018	13.43	20.75	4.6	0.29	11.03	0	0	0	0	0	0.26	16.08	66.44
2019	17.52	114.38	75.01	16.04	1.33	0	0	0.04	0	0	0.13	20.22	244.67
PROMEDIO	29.08	74.29	66.18	37.19	10.31	0.59	0.34	0.01	0.11	0.22	0.77	11.83	230.92
MÁXIMO	274.29	482.25	275.98	387.59	128.35	9.32	6.52	0.42	3.84	2.16	24.11	303.96	1318.25
MÍNIMO	1.31	2.49	0.00	0.29	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	32.68
DESVIACION	53.80	83.63	66.92	70.27	23.82	1.71	1.36	0.07	0.62	0.51	3.85	48.23	259.13

FUENTE: Producto grillado PISCO - SENAMHI

Estación meteorológica Virtual 04: precipitación acumulada mensual anual. enero de 1981 a diciembre de 2019.														
ESTACION:		VIRTUAL 04			LATITUD:			4°9'0.018" S			OPTO.		TUMBES	
Nº DE REGISTROS:		39 AÑOS			LONGITUD:			80°38'60" w			PROV.		CONT. VILLAR	
PERIODO:		1981 - 2019			ALTITUD:			980 m.s.n.m			DIST.		CASITAS	
AÑO	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SET	OCT	NOV	DIC	TOTAL	
1981	16.99	74.63	150.75	18.08	1.96	0.26	0	0.58	0	0.21	0	8.82	272.28	
1982	16.73	15.33	1.52	31.44	2.52	0.03	0	0	0.16	0.62	0.49	32.71	101.55	
1983	365.96	367.34	484.23	888.81	443.89	39.44	6.14	0	0.09	0.55	0	17.44	2613.89	
1984	17.06	383.78	102.53	7.34	4.25	1.4	0	0.22	0	0.56	0.15	10.36	527.65	
1985	6.02	63	52.89	10.81	4.76	0.29	0	0	0.06	0.21	0	21.52	159.56	
1986	46.91	123.54	2.55	47.55	6.36	0	0	0.53	0	0.05	0.03	24.26	251.78	
1987	43.53	606.62	202.75	54.67	8.84	0.1	0.38	0.03	0.01	0.3	0	5.4	922.63	
1988	29.12	49.82	6.7	24.11	11.33	0	0.06	0.07	0	0.1	0.06	9.28	130.65	
1989	53.27	291.83	129.73	57.24	5.85	0.69	0	0.13	0	0	0	1.24	539.98	
1990	12.89	49.59	45.35	11.32	3.94	0.52	0	0.1	0	0.4	0.7	19.1	143.91	
1991	13.93	97.41	83.53	18.89	7.71	0.44	0	0.03	0	0.14	0	9.47	231.55	
1992	18.18	166.69	354.48	194.79	121.69	1.07	0	0.18	0	0.29	0	9.46	866.83	
1993	23.43	326.16	284.23	99.34	22.86	0.7	0	0.39	0.03	0.51	0	7.34	764.99	
1994	42.41	186.41	81.37	30.38	11.89	0.04	0	0.08	0.01	0.15	0	27.96	380.7	
1995	20.82	186.85	37.47	16.32	5.09	0	0.6	0	0	0.37	0.83	21.48	289.83	
1996	18.61	113.08	61.16	6.93	5.93	0	0	0.24	0	0.57	0	4.35	210.87	
1997	19.09	92.87	147.98	78.57	18.97	5.59	0.13	0.47	4.44	5.64	17.42	1253.87	1645.04	
1998	672.87	1724.94	885.15	473.42	193.17	2.62	0.27	0.05	0.06	1.1	0	14	3967.65	
1999	30.41	431.41	143.64	43.72	40.95	0.42	0	0	0.17	0.85	0	19.75	711.32	
2000	13.34	253.26	122.89	97.93	41.94	2.26	0	0.22	0	0.13	0	18.02	549.99	
2001	59.59	141.42	467.18	89.8	4.98	0	0	0.16	0	0.25	0.68	9.48	773.54	
2002	10.97	237	432.51	200.58	4.66	0.08	0.03	0.55	0.12	2.49	0.04	12.25	901.28	
2003	23.85	116.44	20.14	13.33	3.68	0.56	0	0.21	0	0.05	0.11	16.57	194.94	
2004	10.14	103.35	59.23	15.53	3.48	0.38	0.1	0.23	0.11	2.83	0	3.96	199.34	
2005	11.39	31.57	136.62	10.55	1.15	0.67	0	0.06	0	0.4	0	8.87	201.28	
2006	27.32	272.16	161.95	8.39	2.71	0.55	0.1	0.15	0	0.13	0.19	12.64	486.29	
2007	40.23	15.46	184.95	13.44	4.64	0	0	0.09	0	0.21	0.07	5.61	264.7	
2008	102.41	312.25	269.13	32.88	5.63	0.86	0.78	0.23	0	1.39	0	2.61	728.17	
2009	208.62	338.89	192.29	18.47	4.4	1.34	0.01	0.16	0	0.13	1.14	13.42	778.87	
2010	24.56	284.43	237.75	45.38	8.2	0.1	0.21	0.06	0	0.3	0	7.96	608.95	
2011	16.41	79.01	6.32	113.71	3.84	1.03	3.44	0.06	0	0.36	0.02	6.8	231	
2012	49.49	802.55	212.7	147.78	11.52	0.3	0.23	0.08	0	0.36	0.49	5.3	1230.8	
2013	24.21	40.08	156.7	11.95	38.14	0.2	0	0.34	0	1.06	0	11.04	283.72	
2014	30.2	43.89	23.28	11.24	43.93	1.4	0.08	0.16	0	0.83	0	6.43	161.44	
2015	16.14	58.99	345.9	107.84	42.9	6.38	0.51	0.16	0	0.68	0.58	17.22	597.3	
2016	26.24	266.61	306.2	98.58	7.45	2.13	0.1	0.11	0	0.14	0	11.66	719.22	
2017	169	660.83	744.2	113.44	76.97	0.9	0.03	0.22	0.31	0.48	0	6.02	1772.4	
2018	38.1	52.77	8.18	6.27	42.2	0.24	0	0.17	0	0.22	0.09	54.3	202.54	
2019	63.3	414.26	227.56	31.94	12.51	0.85	0.02	0.24	0	0.34	0.2	55.99	807.21	
<b>PROMEDIO</b>	<b>62.40</b>	<b>253.24</b>	<b>194.20</b>	<b>84.69</b>	<b>33.00</b>	<b>1.89</b>	<b>0.34</b>	<b>0.17</b>	<b>0.14</b>	<b>0.65</b>	<b>0.60</b>	<b>46.26</b>	<b>677.58</b>	
<b>MÁXIMO</b>	<b>672.87</b>	<b>1724.94</b>	<b>885.15</b>	<b>888.81</b>	<b>443.89</b>	<b>39.44</b>	<b>6.14</b>	<b>0.58</b>	<b>4.44</b>	<b>5.64</b>	<b>17.42</b>	<b>1253.87</b>	<b>3967.65</b>	
<b>MÍNIMO</b>	<b>6.02</b>	<b>15.33</b>	<b>1.52</b>	<b>6.27</b>	<b>1.15</b>	<b>0.00</b>	<b>0.00</b>	<b>0.00</b>	<b>0.00</b>	<b>0.00</b>	<b>0.00</b>	<b>1.24</b>	<b>101.55</b>	
<b>DESVIACION</b>	<b>120.24</b>	<b>304.92</b>	<b>196.67</b>	<b>156.87</b>	<b>76.97</b>	<b>6.32</b>	<b>1.11</b>	<b>0.16</b>	<b>0.71</b>	<b>1.01</b>	<b>2.78</b>	<b>198.82</b>	<b>747.02</b>	

FUENTE: Producto grillado PISCO - SENAMHI

Estación meteorológica Virtual 05: precipitación acumulada mensual anual. enero de 1981 a 2019 diciembre de 2022.														
ESTACION:		VIRTUAL 05				LATITUD:		4°9'0.018" S			OPTO.		TUMBES	
Nº DE REGISTROS:		39 AÑOS				LONGITUD:		80°32'60" w			PROV.		TUMBES	
PERIODO:		1981 - 2019				ALTITUD:		390 m.s.n.m			DIST.		SAN JACINTO	
AÑO	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SET	OCT	NOV	DIC	TOTAL	
1981	27.29	89.84	235.32	20.06	0.67	0.29	0	0.58	0.02	0.26	0	9.15	383.48	
1982	25.71	18.43	2.04	35.79	0.77	0.1	0	0.02	0.4	0.74	0.68	37.48	122.16	
1983	583.12	455.03	782.11	1011.1	215.41	54.36	8.72	0.03	0.43	0.81	0	14.14	3125.26	
1984	27.05	458.37	147.06	7.39	1.62	1.79	0	0.28	0.17	0.64	0.36	9.77	654.5	
1985	10.44	72.79	77.22	11.82	2.28	0.45	0	0	0.32	0.35	0.01	20.64	196.32	
1986	86.1	130.9	4.29	52.9	2.58	0	0	0.63	0.26	0.12	0.18	22.9	300.86	
1987	77.12	672.52	298.09	61.72	3.78	0.19	0.58	0.1	0.37	0.39	0	4.88	1119.74	
1988	49.37	59.19	10	26.69	6.17	0	0.2	0.11	0.07	0.19	0.26	10.43	162.68	
1989	101.2	291.8	188.38	56.84	2.54	0.94	0.08	0.2	0.18	0	0	1	643.16	
1990	21.13	57.65	63.11	13.92	2.03	0.74	0.03	0.13	0.17	0.64	0.91	18.08	178.54	
1991	23.12	123.42	143.32	23.55	2.73	0.71	0	0.07	0	0.23	0.04	9.13	326.32	
1992	31.15	225.6	592.69	237.54	62.49	1.06	0	0.24	0.18	0.4	0	8.22	1159.57	
1993	37.87	367.18	425.33	117.83	9.29	0.77	0.07	0.43	0.33	0.61	0	7.86	967.57	
1994	67.76	219.87	112.19	32.87	5.74	0.11	0	0.13	0.26	0.26	0.05	29.43	468.67	
1995	34.78	247.09	56.24	17.83	2.36	0	0.94	0	0.13	0.48	1.23	18.79	379.87	
1996	35.82	136.16	89.61	7.85	2.17	0	0	0.28	0.06	0.69	0	4.06	276.7	
1997	37.92	106.2	216.47	96.21	9.34	9.62	0.31	0.6	6.86	7.51	18.99	942.34	1452.37	
1998	1030.56	1904.8	1214.66	523.73	83.83	3.16	0.62	0.11	0.29	1.44	0.03	14.17	4777.4	
1999	64.14	481.24	200.23	51.44	20.28	0.65	0.01	0.03	0.55	0.96	0	18.82	838.35	
2000	18.84	306.74	199.35	124.93	23.6	2.78	0.01	0.25	0.09	0.14	0	15.74	692.47	
2001	102.56	176.44	644.12	92.39	2.21	0.02	0.07	0.17	0.18	0.3	0.84	9.49	1028.79	
2002	16.17	288.6	595.57	211.9	1.95	0.15	0.09	0.5	0.28	3.05	0.01	12.33	1130.6	
2003	46.24	141.61	34.87	14.46	1.46	0.9	0	0.24	0.09	0.1	0.33	14.38	254.68	
2004	18.78	129.65	91.65	18.86	1.42	0.66	0.17	0.26	0.35	3.05	0	3.32	268.17	
2005	20.7	29.24	211.15	13.84	0.04	1.33	0	0.1	0	0.4	0.21	9.45	286.46	
2006	48.52	328.81	244.63	12.34	1.29	0.6	0.26	0.2	0.1	0.15	0.49	13.81	651.2	
2007	71.23	20.88	282.07	17.81	1.91	0.01	0	0.14	0.04	0.26	0.12	5.64	400.11	
2008	163.03	366.96	443.72	47.34	4.01	1.25	1.36	0.3	0.04	1.54	0.05	2.02	1031.62	
2009	359.3	379.14	339.65	23.6	1.94	0.91	0.07	0.22	0.12	0.16	1.1	13.89	1120.1	
2010	49.97	331	359.3	52.88	4.6	0.49	0.31	0.12	0	0.41	0	7.22	806.3	
2011	30.42	100.29	13.3	134.03	2.3	1.93	3.46	0.11	0.11	0.73	0.14	6.43	293.25	
2012	87.22	968.91	343.98	252.51	6.74	0.49	0.54	0.12	0.03	0.49	0.67	5.32	1667.02	
2013	40.21	49.24	225.82	16.39	17.69	0.23	0.03	0.35	0	1.4	0	10.14	361.5	
2014	51.45	54.38	39.56	12.69	26.81	2.46	0.2	0.18	0.22	0.98	0	7.07	196	
2015	31.74	76.2	549.08	126.84	19.47	8.48	1.15	0.19	0.21	0.89	0.84	17.02	832.11	
2016	51.23	309.95	427	113.18	4.26	3.32	0.26	0.14	0.16	0.14	0	9.1	918.74	
2017	297.58	742.21	1019.96	139.29	40.99	1.31	0.16	0.29	0.78	0.58	0	5.88	2249.03	
2018	73.26	65.33	11.72	9.52	19.84	0.24	0	0.2	0	0.25	0.15	53.09	233.6	
2019	100.65	470.17	328.57	43.19	5.69	1.34	0.08	0.33	0	0.37	0.37	56.67	1007.43	
PROMEDIO	103.87	293.69	288.81	99.62	16.01	2.66	0.51	0.21	0.36	0.82	0.72	37.93	845.20	
MÁXIMO	1030.56	1904.80	1214.66	1011.10	215.41	54.36	8.72	0.63	6.86	7.51	18.99	942.34	4777.40	
MÍNIMO	10.44	18.43	2.04	7.39	0.04	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	1.00	122.16	
DESVIACION	186.79	340.41	278.94	178.79	37.08	8.73	1.48	0.16	1.08	1.29	3.02	149.12	890.04	

FUENTE: Producto grillado PISCO - SENAMHI

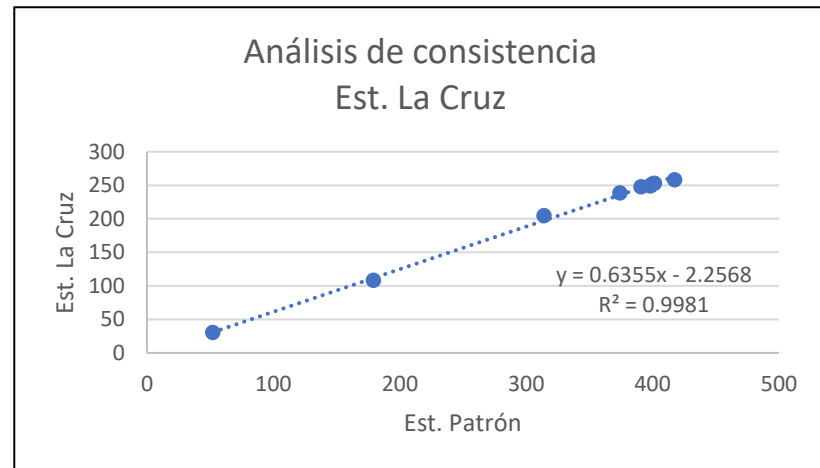
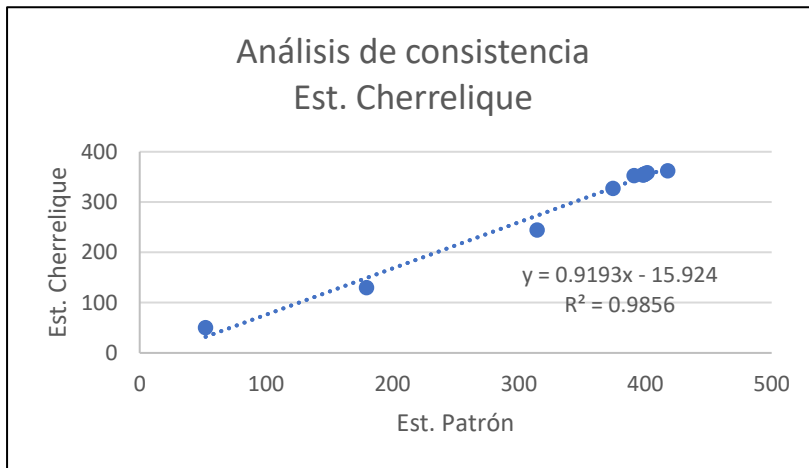
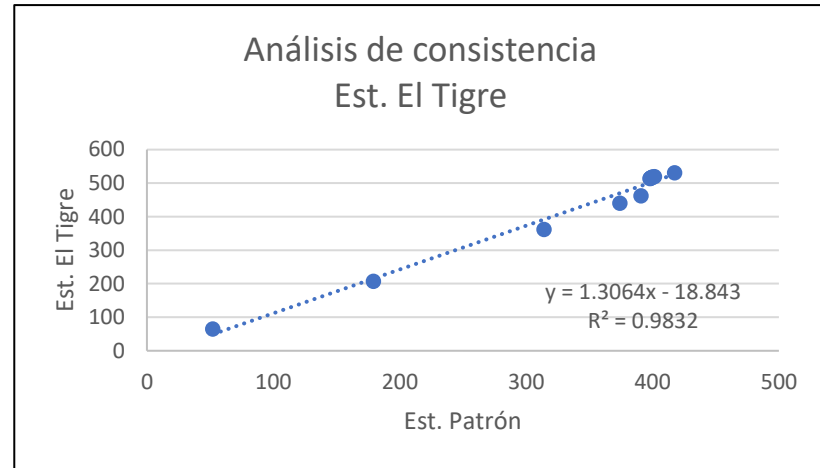
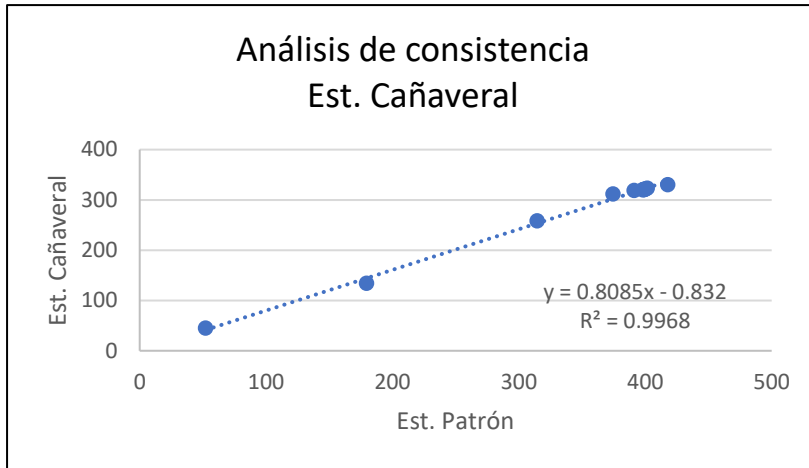
## Anexo 02:

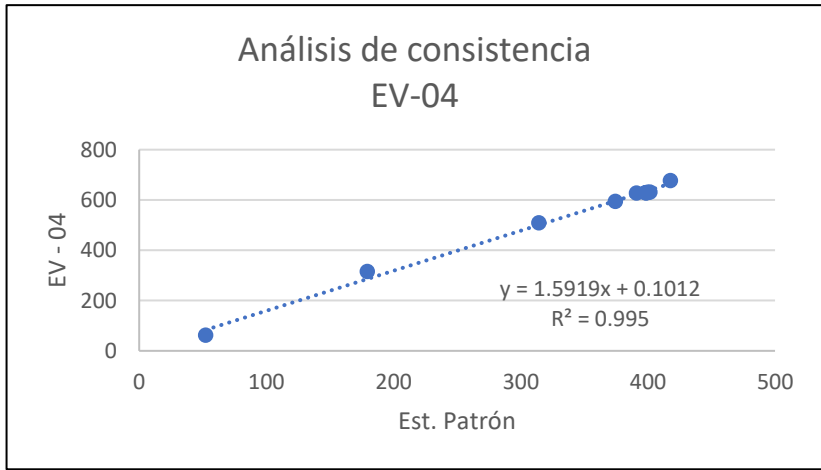
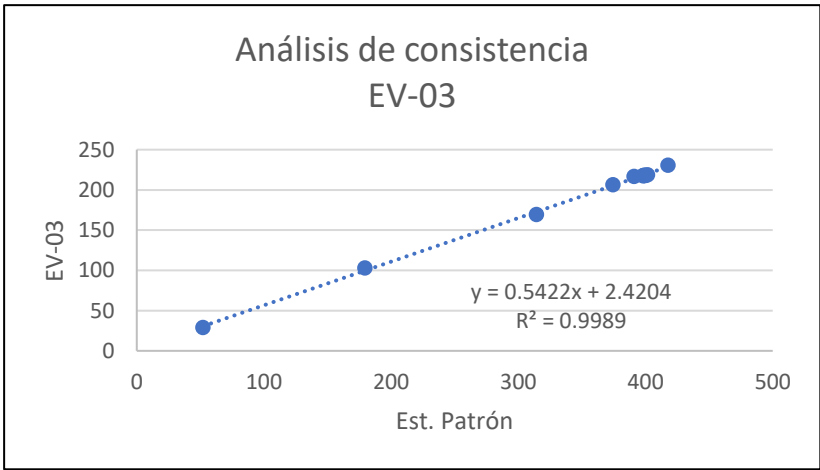
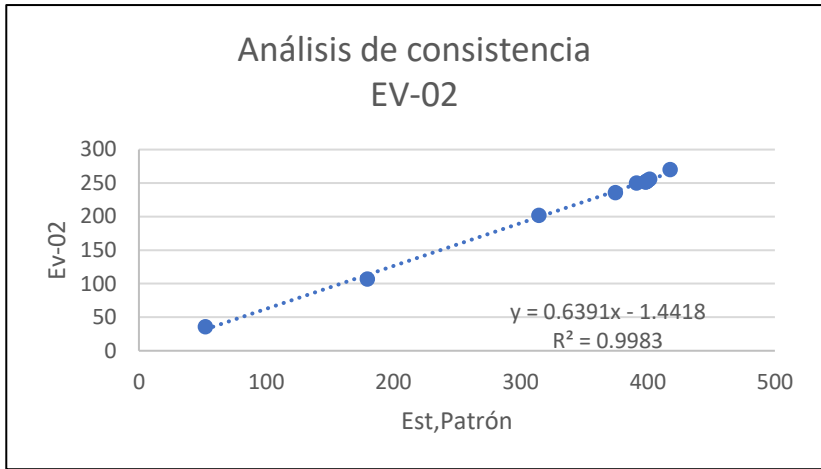
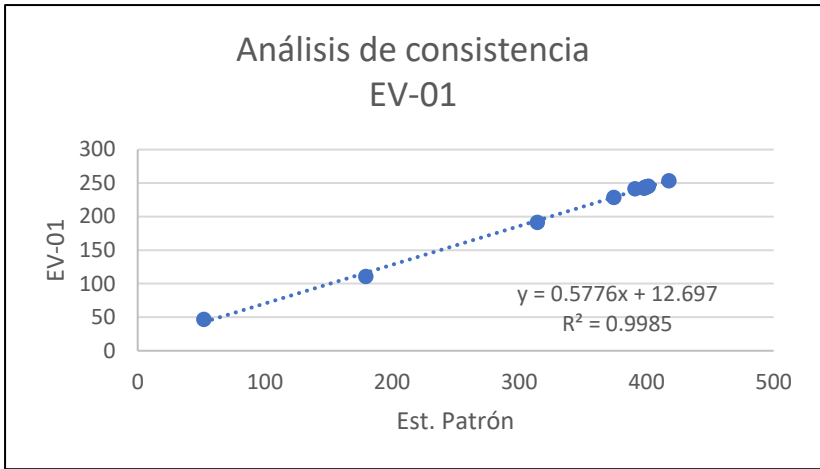
Análisis de doble masa de data utilizada en investigación.

MES	Est.	PP.	Est.	PP.	Est.	PP.	Est.	PP.	Est.	PP.	EV-01	PP.	EV-02	PP.	EV-03	PP.	EV-04	PP.	EV-05	PP.
	Patron (PP mm)	Acum.	Cañaveral (PP mm)	Acum.	El Tigre (PP mm)	Acum.	Cherreliqu (PP mm)	Acum.	La Cruz (PP mm)	Acum.	(PP mm)	Acum.	(PP mm)	Acum.	(PP mm)	Acum.	(PP mm)	Acum.	(PP mm)	Acum.
Ene	52.10	52.10	45.04	45.04	64.85	64.85	50.45	50.45	30.52	30.52	46.99	46.99	35.72	35.72	29.08	29.08	62.40	62.40	103.87	103.87
Feb	127.29	179.40	89.54	134.57	142.38	207.23	79.59	130.04	78.07	108.59	63.75	110.74	71.10	106.81	74.29	103.38	253.24	315.65	293.69	397.55
Mar	134.93	314.32	123.67	258.25	154.96	362.19	114.78	244.82	96.27	204.86	80.50	191.24	94.99	201.80	66.18	169.55	194.20	509.84	288.81	686.36
Abr	60.10	374.43	53.83	312.07	77.50	439.68	82.59	327.41	34.00	238.86	37.53	228.77	33.99	235.80	37.19	206.74	84.69	594.53	99.62	785.98
May	16.70	391.13	6.86	318.93	22.39	462.07	25.24	352.65	9.30	248.16	12.92	241.69	14.29	250.09	10.31	217.05	33.00	627.53	16.01	801.98
Jun	6.96	398.08	1.01	319.94	51.53	513.60	1.63	354.28	1.11	249.26	0.93	242.62	1.25	251.34	0.59	217.64	1.89	629.42	2.66	804.65
Jul	0.57	398.66	0.61	320.56	1.10	514.69	0.27	354.55	0.57	249.84	0.52	243.14	0.88	252.22	0.34	217.99	0.34	629.76	0.51	805.15
Ago	0.26	398.92	0.08	320.63	0.73	515.43	0.00	354.55	0.42	250.26	0.28	243.42	0.44	252.66	0.01	218.00	0.17	629.93	0.21	805.37
Set	0.43	399.35	0.03	320.66	0.63	516.06	1.25	355.80	0.47	250.73	0.41	243.83	0.49	253.15	0.11	218.11	0.14	630.08	0.36	805.72
Oct	0.72	400.07	0.48	321.14	1.84	517.90	0.21	356.01	1.29	252.02	0.37	244.20	0.57	253.72	0.22	218.32	0.65	630.73	0.82	806.55
Nov	1.46	401.53	2.33	323.47	1.72	519.61	2.69	358.70	1.13	253.15	1.19	245.39	2.05	255.77	0.77	219.09	0.60	631.33	0.72	807.27
Dic	16.12	417.65	6.92	330.39	10.70	530.31	3.61	362.31	5.18	258.33	8.06	253.45	14.63	270.39	11.83	230.92	46.26	677.58	37.93	845.20

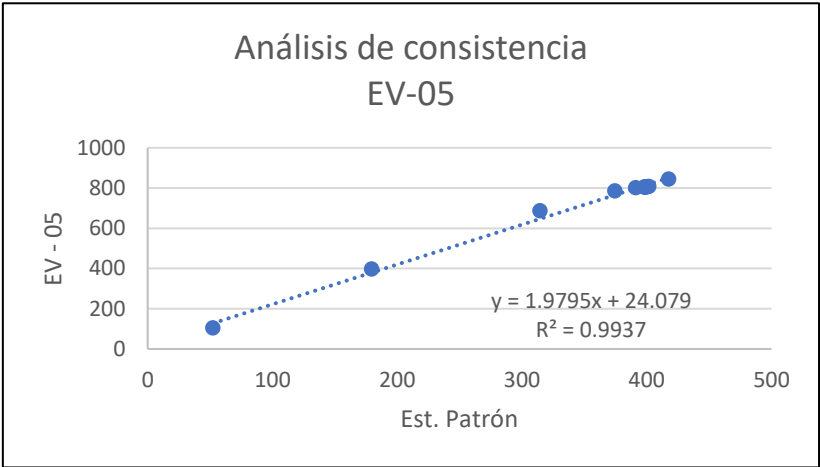
**Anexo 03:**

Gráficos de consistencia de la data de cada estación pluviométrica con respecto a la estación patrón.









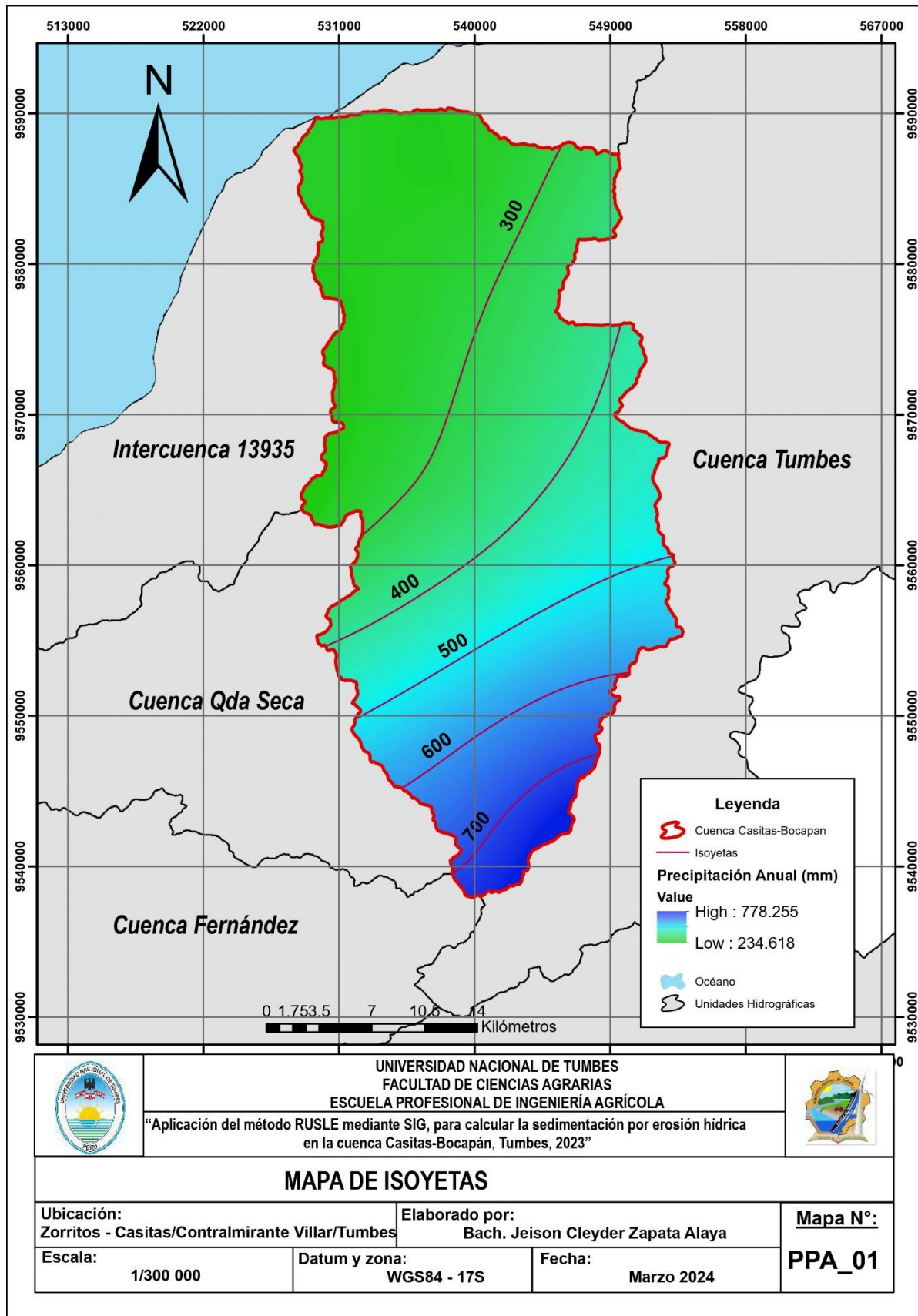
**Anexo 04:**

Matriz de correlación de la data usada en la investigación respecto a la estación patrón

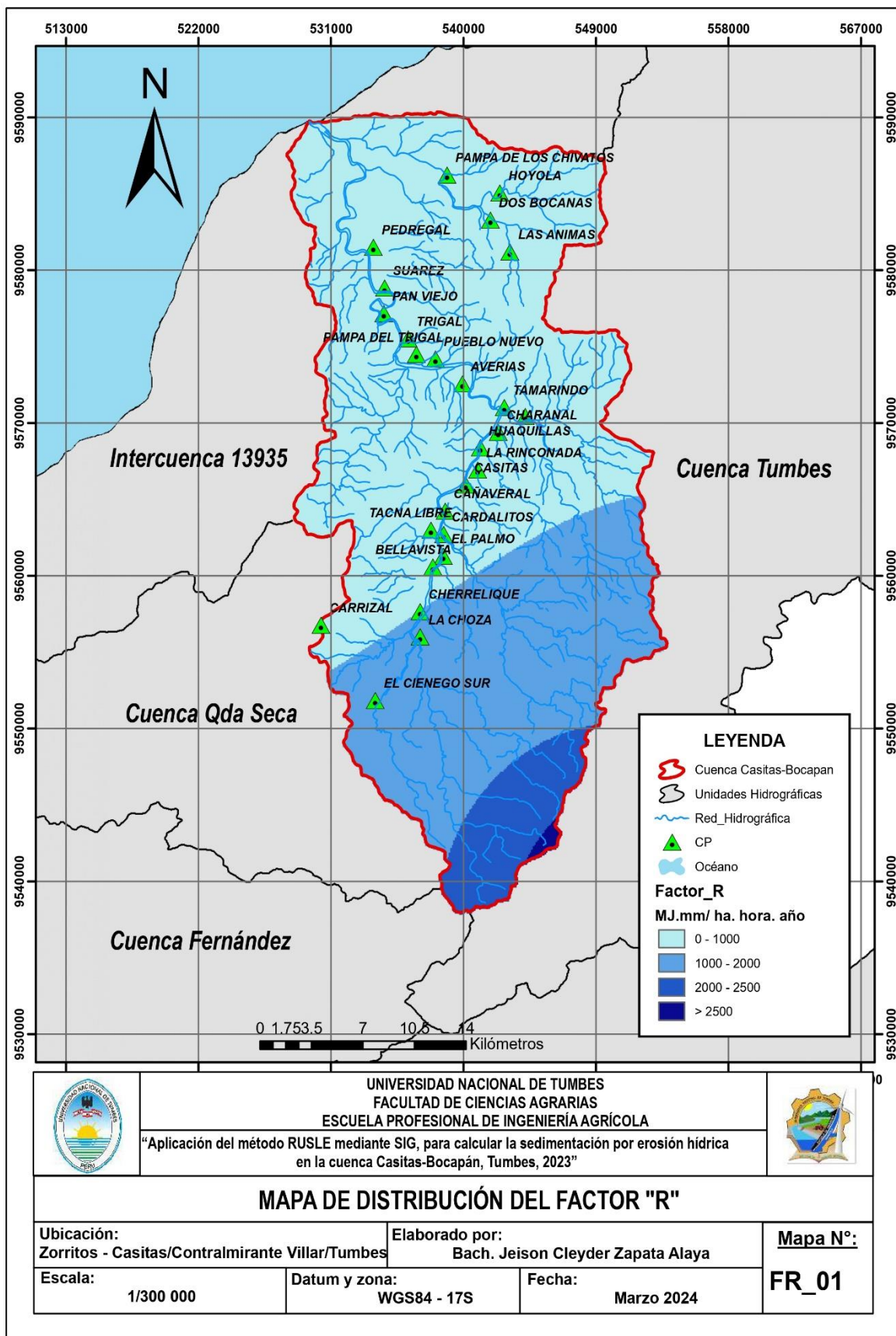
	<i>Estación Patron</i>	<i>Estación Cañaveral</i>	<i>Estación El Tigre</i>	<i>Estación Cherrelique</i>	<i>Estación La Cruz</i>	<i>EV-01</i>	<i>EV-02</i>	<i>EV-03</i>	<i>EV-04</i>	<i>EV-05</i>
Estación Patron	1									
Estación Cañaveral	0.9867448	1								
Estación El Tigre	0.97331836	0.96045541	1							
Estación Cherrelique	0.94512634	0.96576324	0.92883354	1						
Estación La Cruz	0.99354378	0.99290428	0.96316124	0.94159022	1					
EV-01	0.97748489	0.98327651	0.94960034	0.96330743	0.97370879	1				
EV-02	0.98854359	0.99095152	0.95314033	0.945726	0.99338593	0.9826205	1			
EV-03	0.9925399	0.96691269	0.95652536	0.93711947	0.97460976	0.96576474	0.96957902	1		
EV-04	0.97439047	0.92875443	0.93103949	0.87062726	0.95530104	0.91862528	0.94443567	0.98495676	1	
EV-05	0.99402873	0.97340372	0.95720206	0.90676208	0.98873008	0.9605904	0.98012433	0.98720614	0.98365106	1



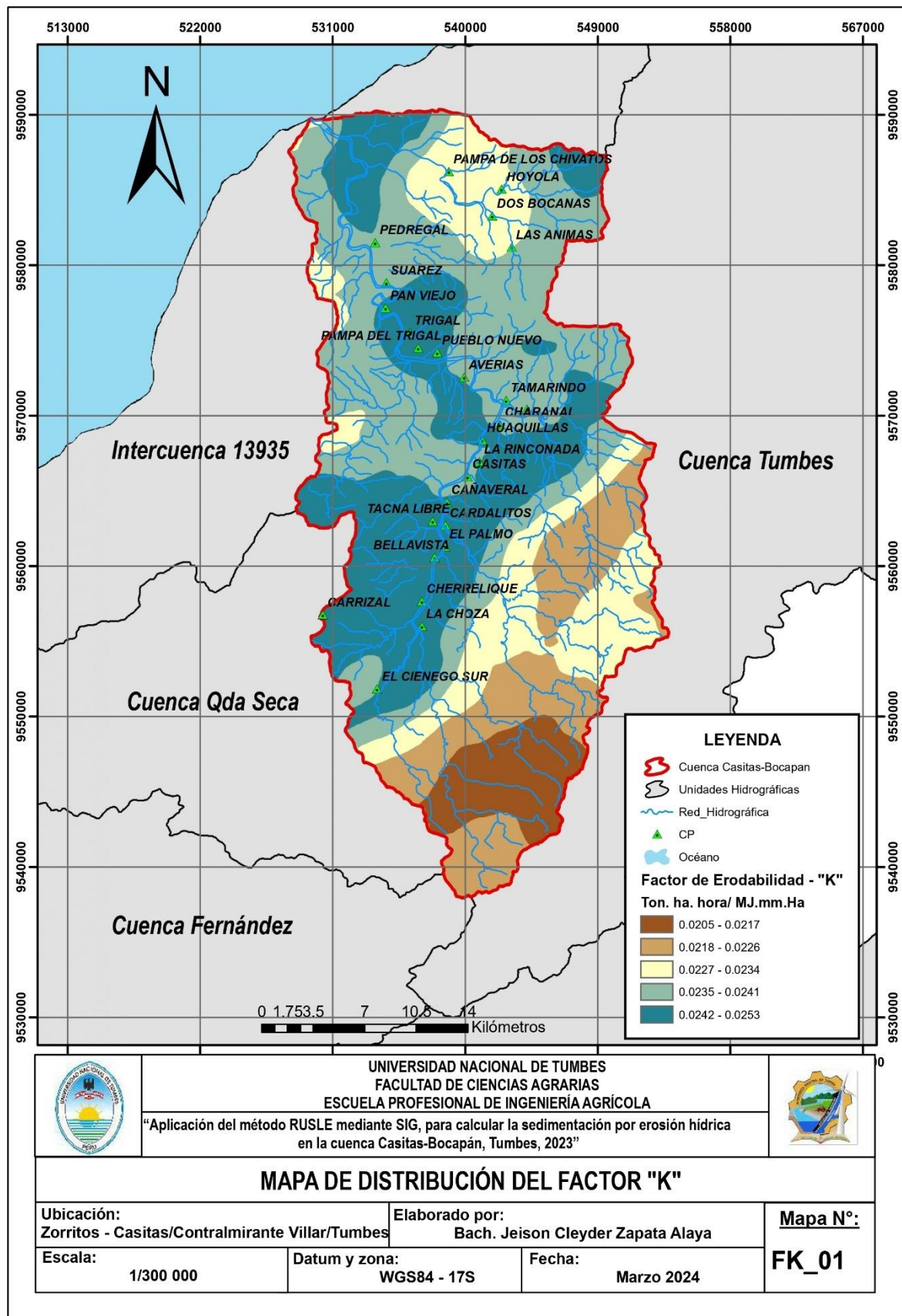
**Anexo 05: Mapa de Isoyetas de la cuenca Casitas - Bocapán**



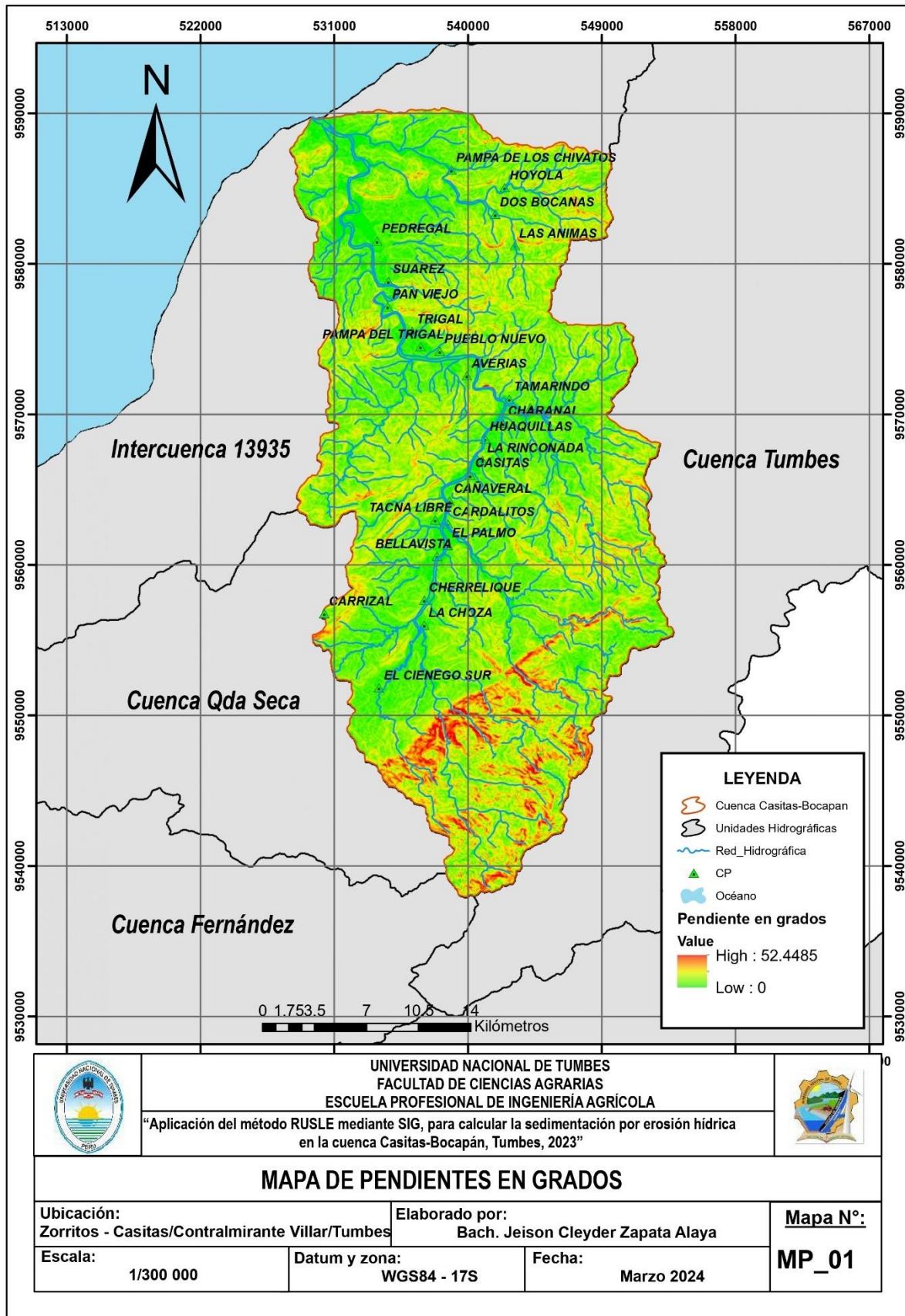
Anexo 06: Mapa de distribución del factor de erosividad de la lluvia "R".



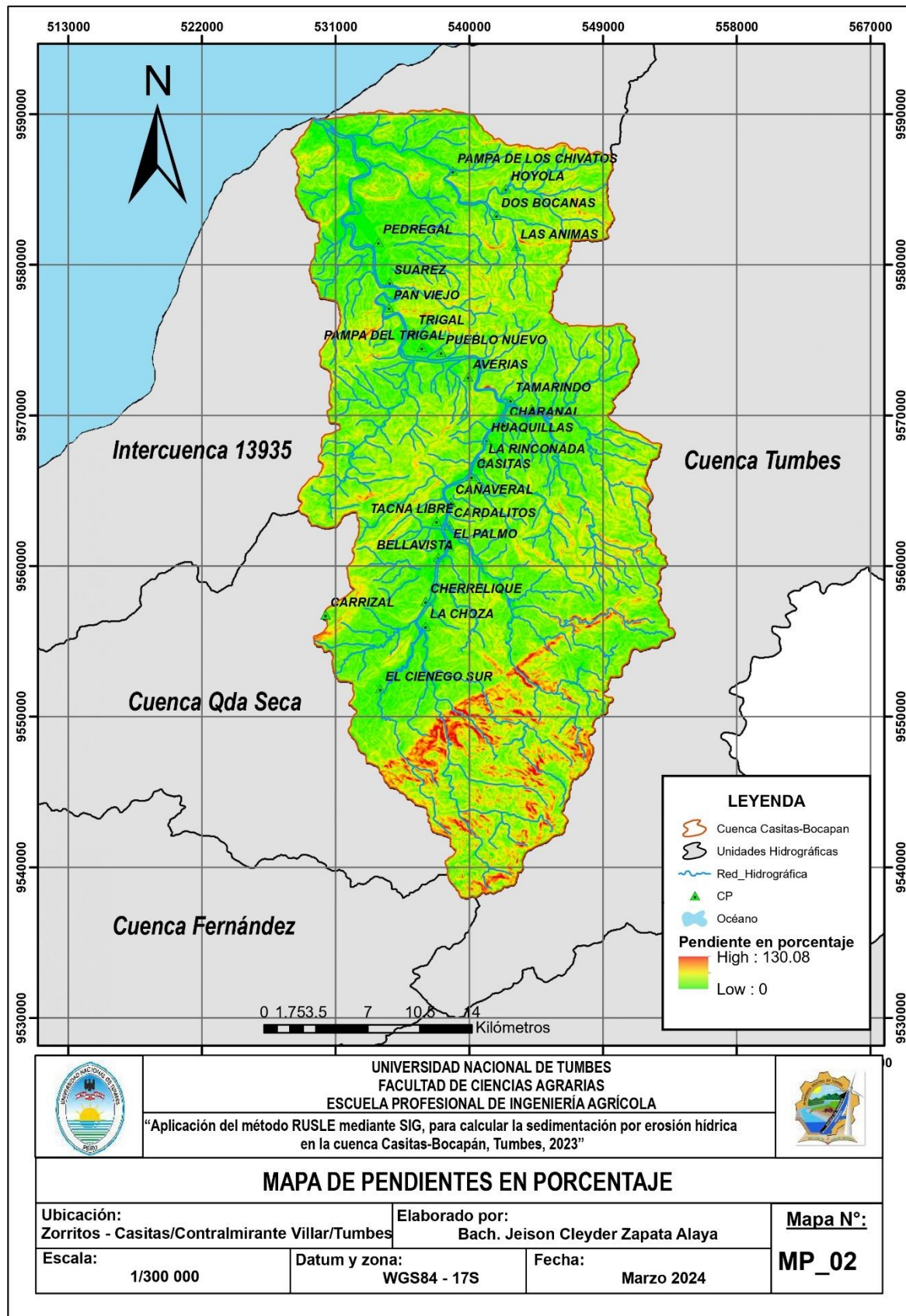
**Anexo 07: Mapa de distribución del factor de erosividad de la lluvia "R".**



Anexo 08: Mapa de pendientes de la cuenca en grados.

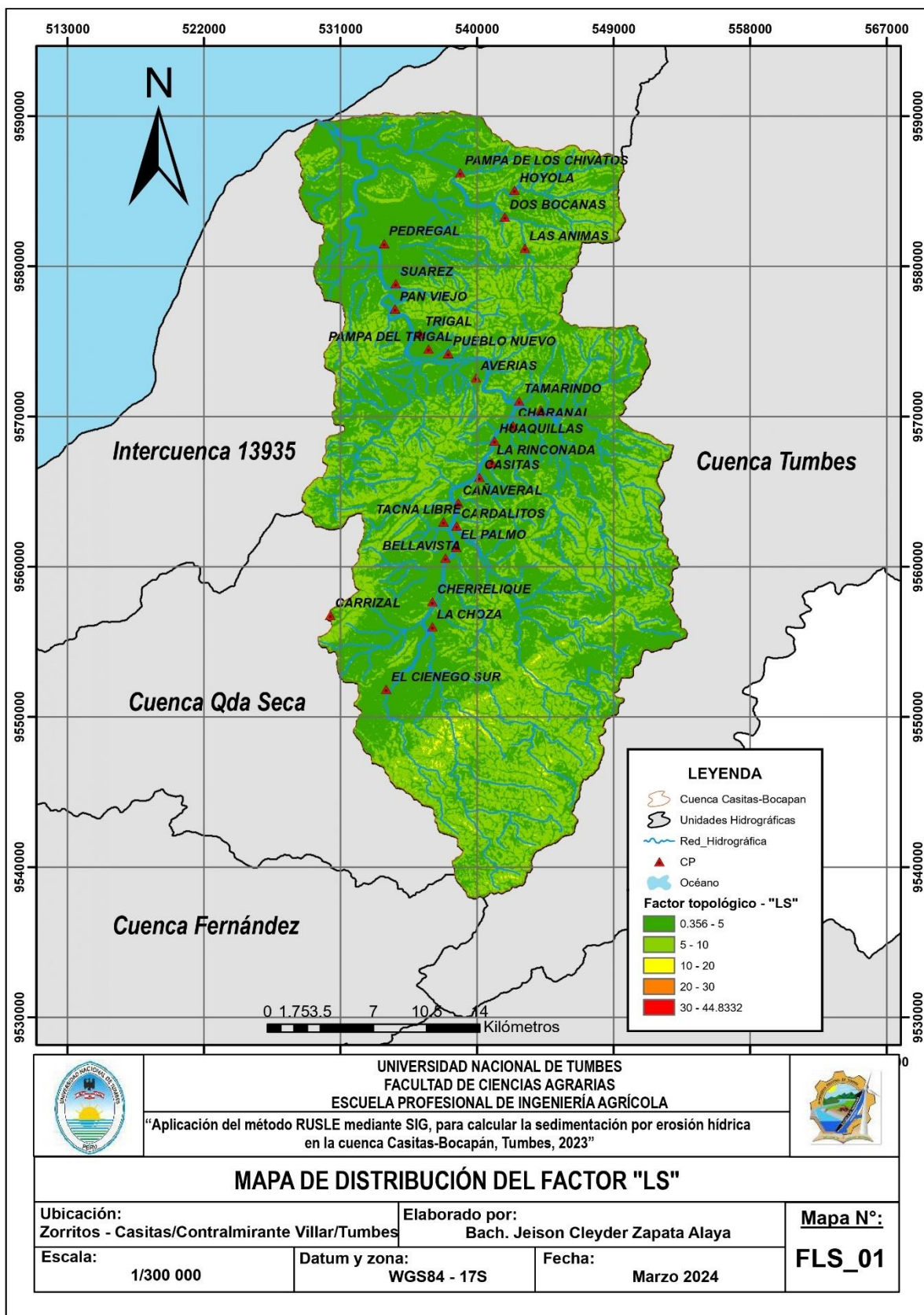


Anexo 09: Mapa de pendientes de la cuenca en porcentaje.

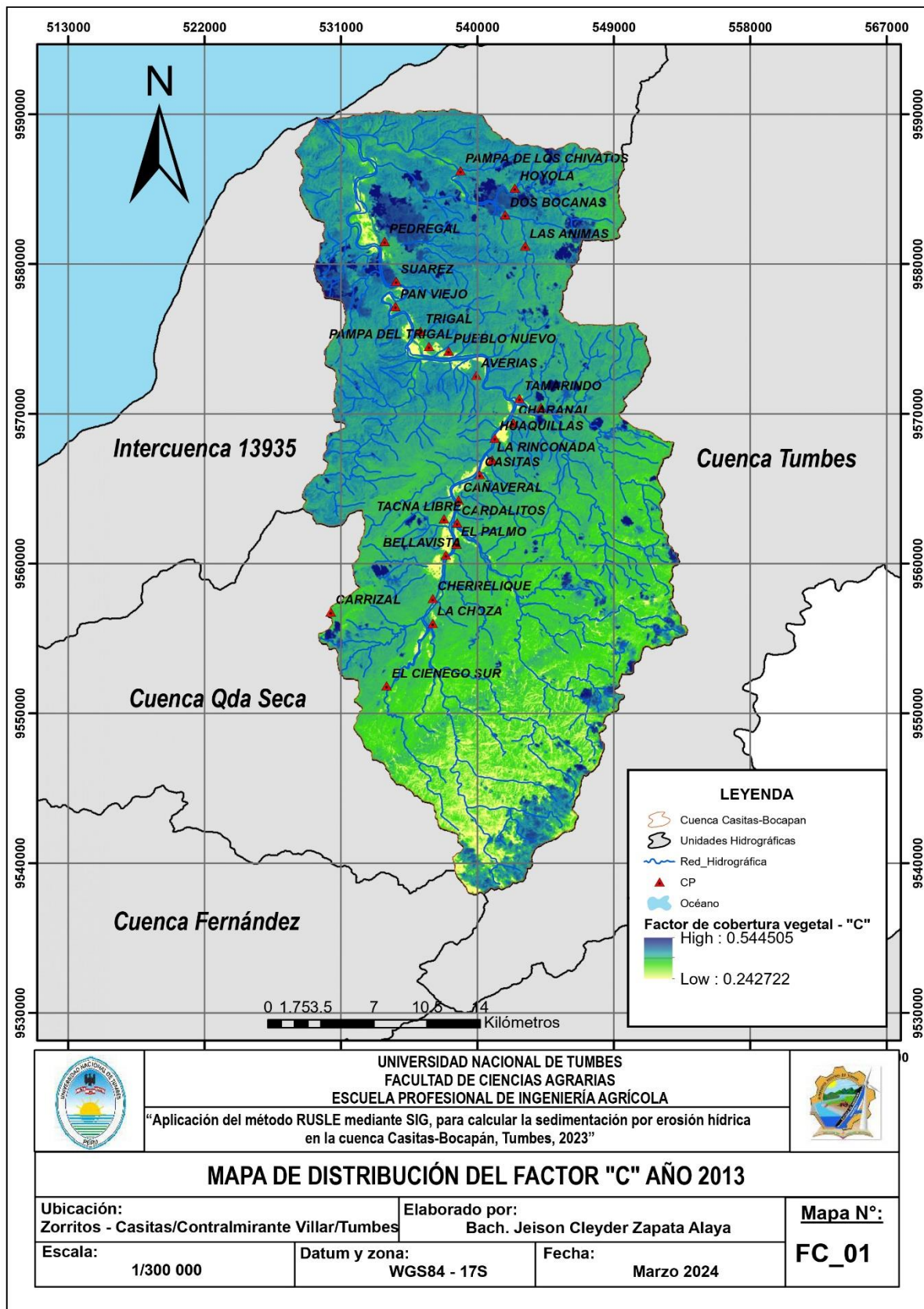




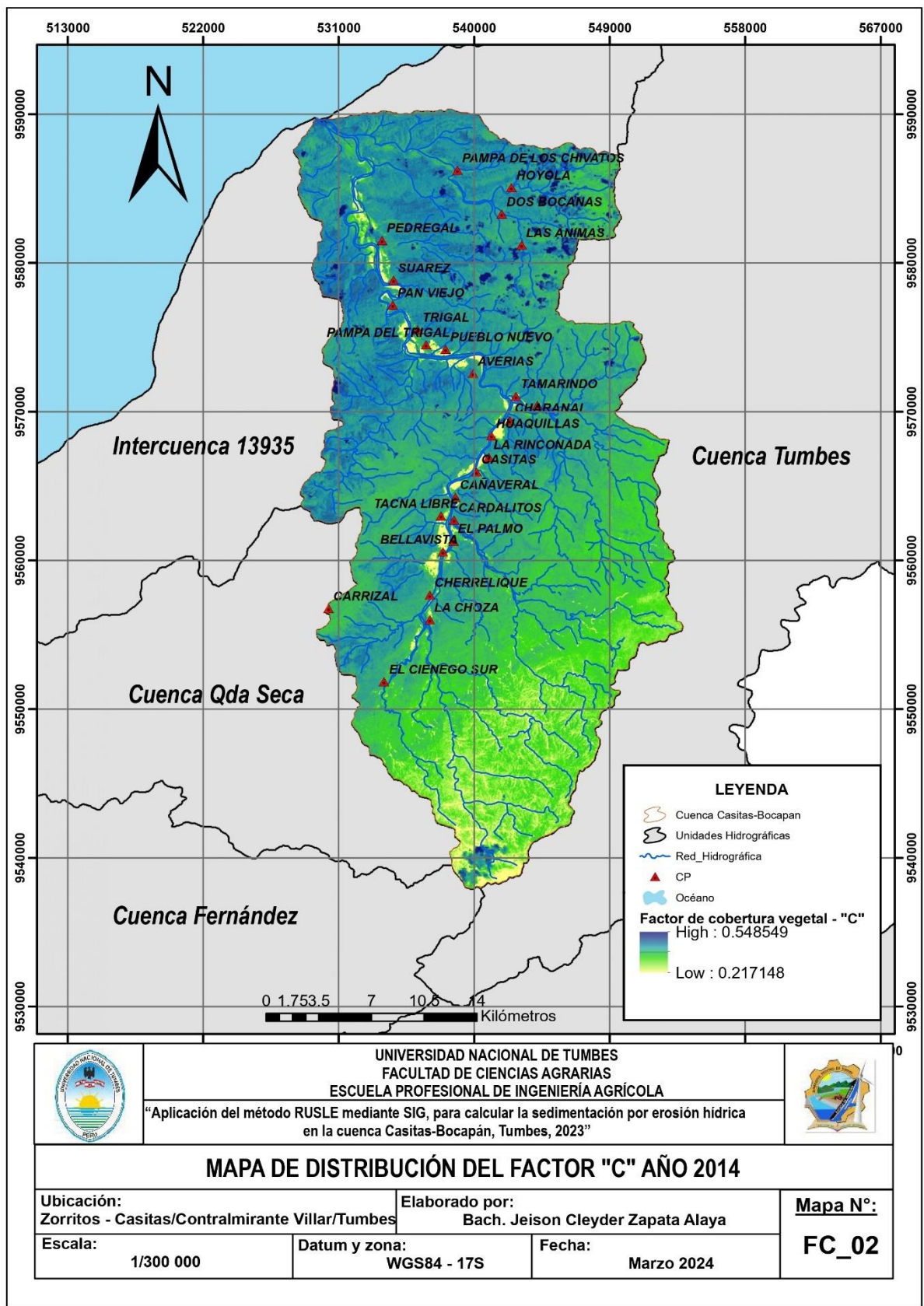
**Anexo 10: Mapa de distribución del factor Topológico – “LS”.**



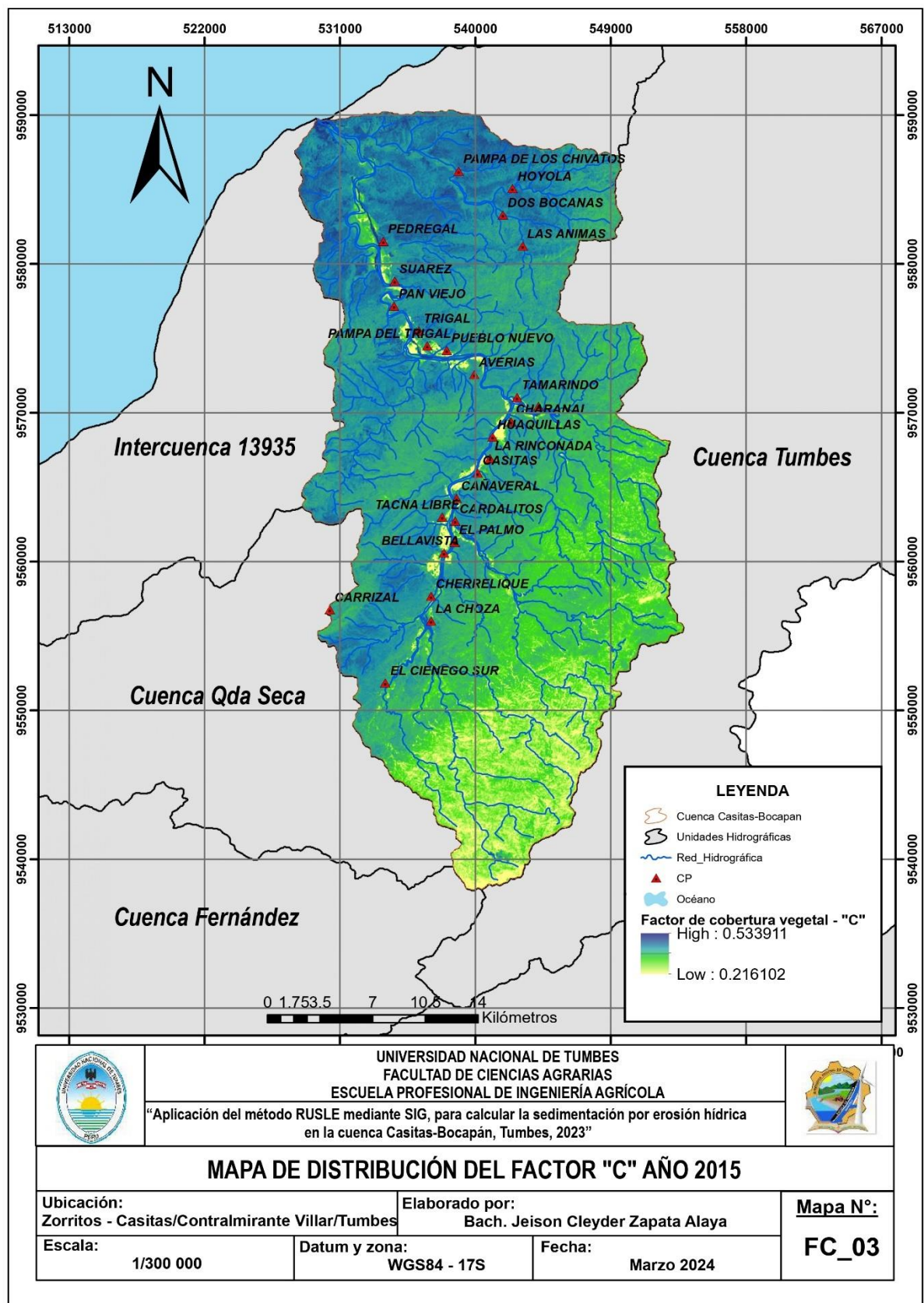
Anexo 11: Mapa de factor de Cobertura Vegetal año 2013.



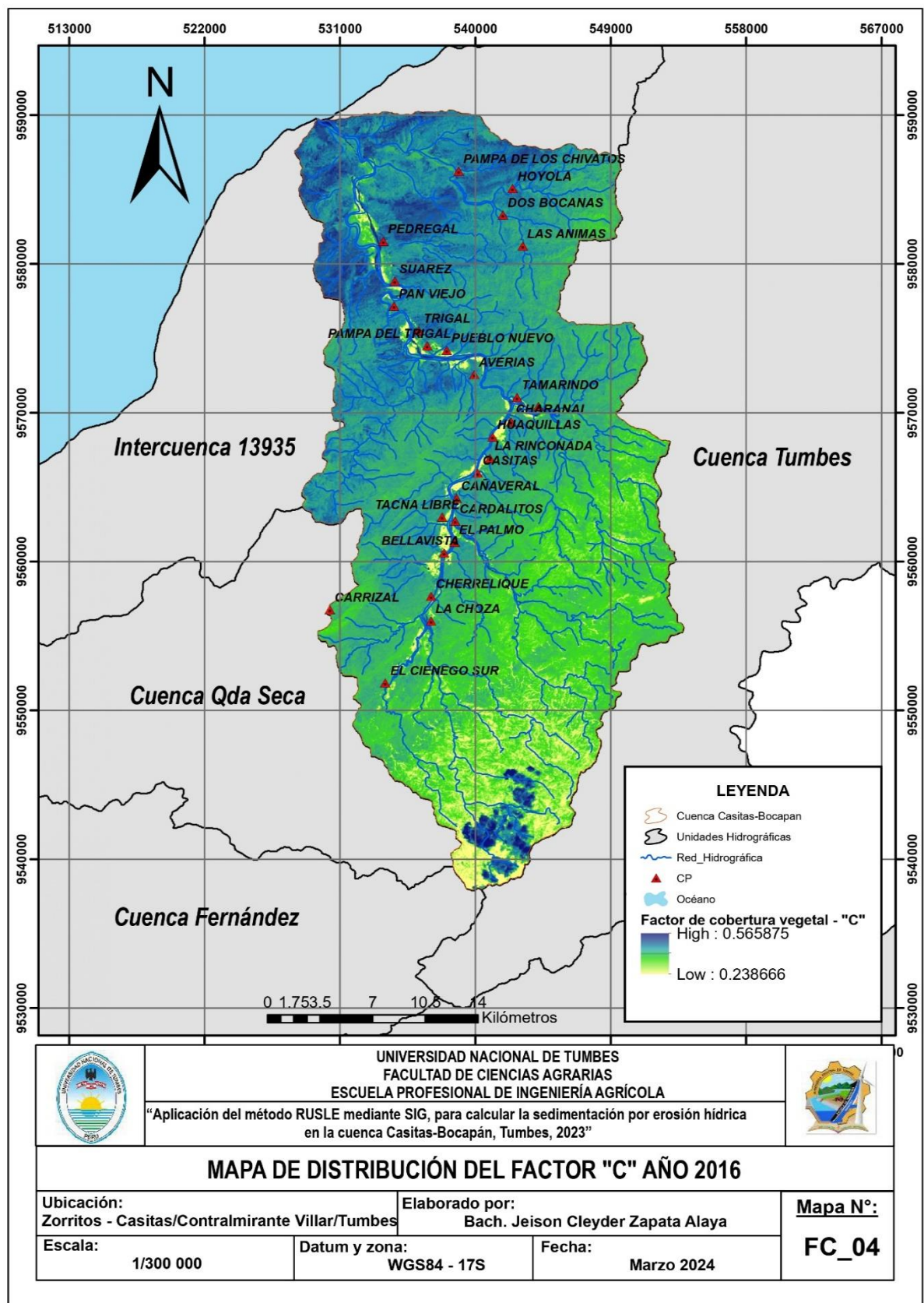
Anexo 12: Mapa de factor de Cobertura Vegetal año 2014.



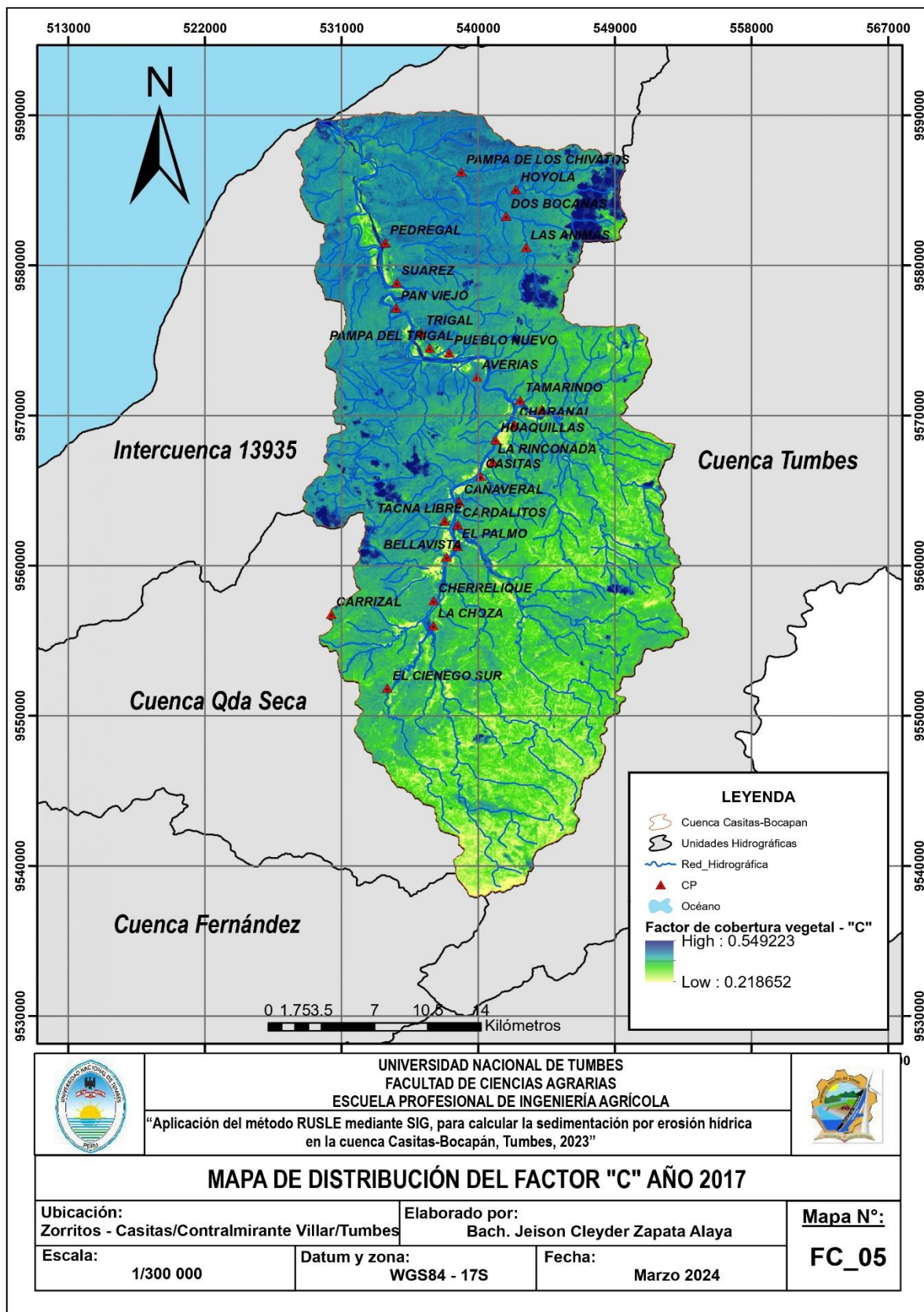
Anexo 13: Mapa de factor de Cobertura Vegetal año 2015.



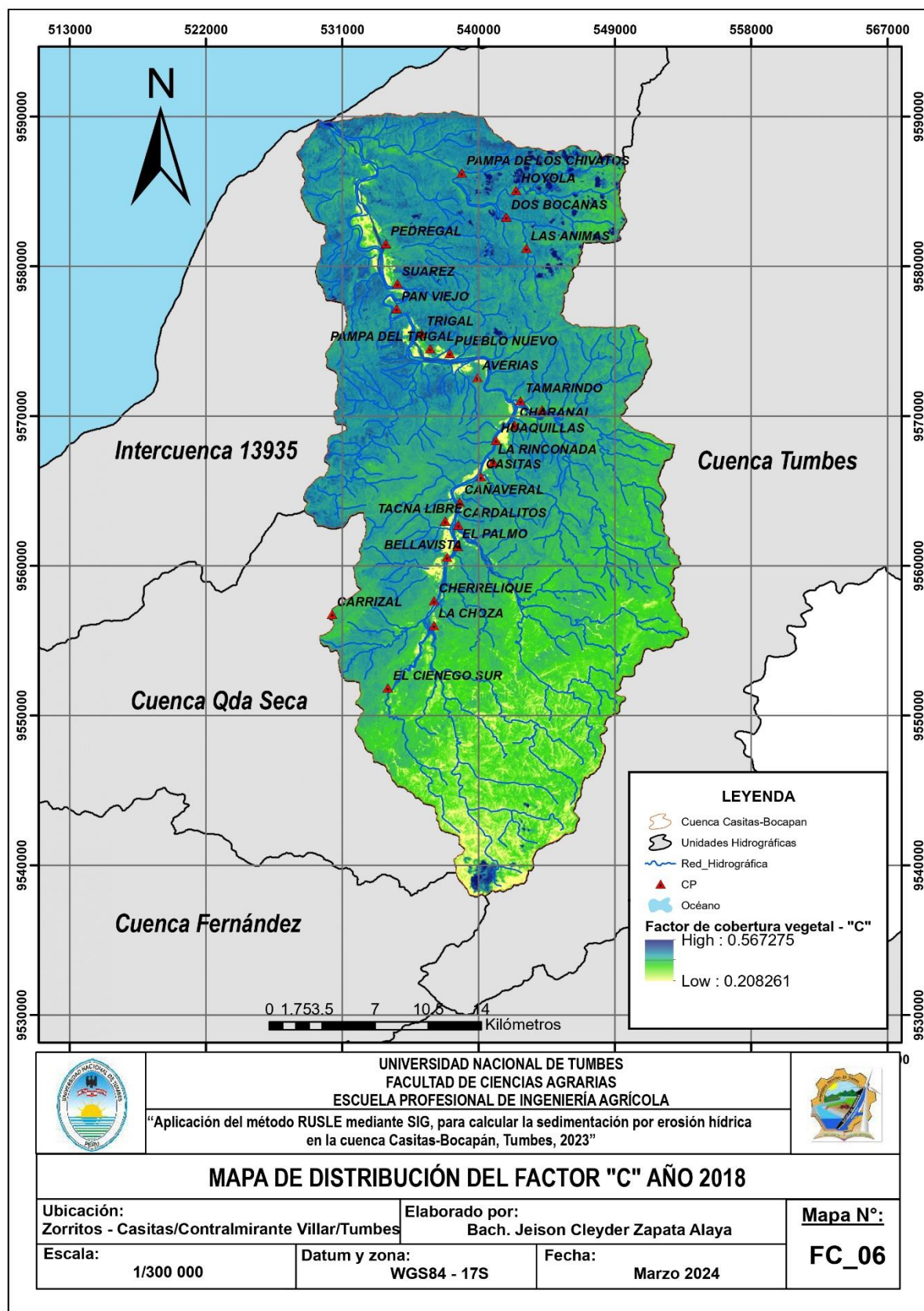
Anexo 14: Mapa de factor de Cobertura Vegetal año 2016.



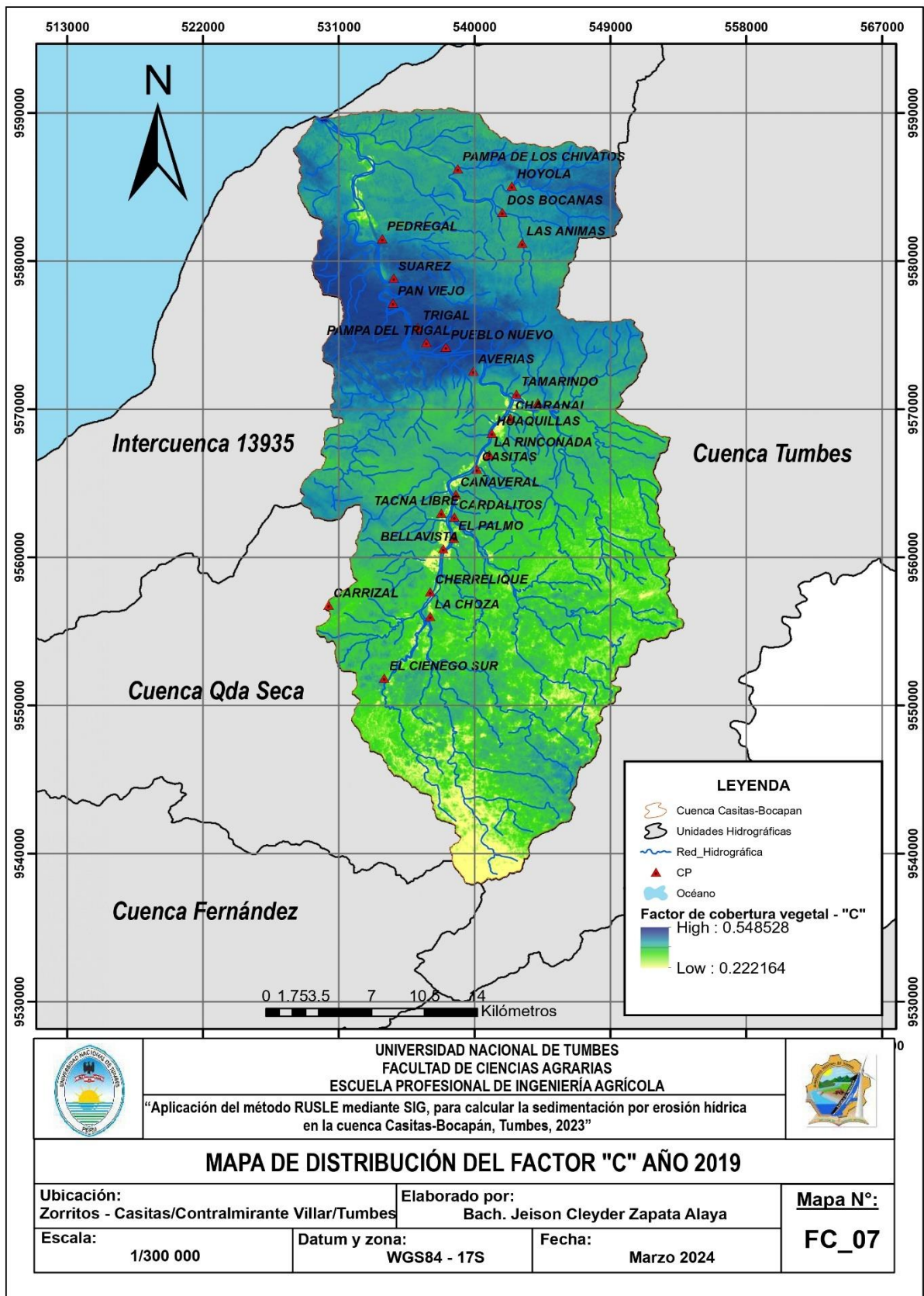
# Anexo 15: Mapa de factor de Cobertura Vegetal año 2017



Anexo 16: Mapa de factor de Cobertura Vegetal año 2018.

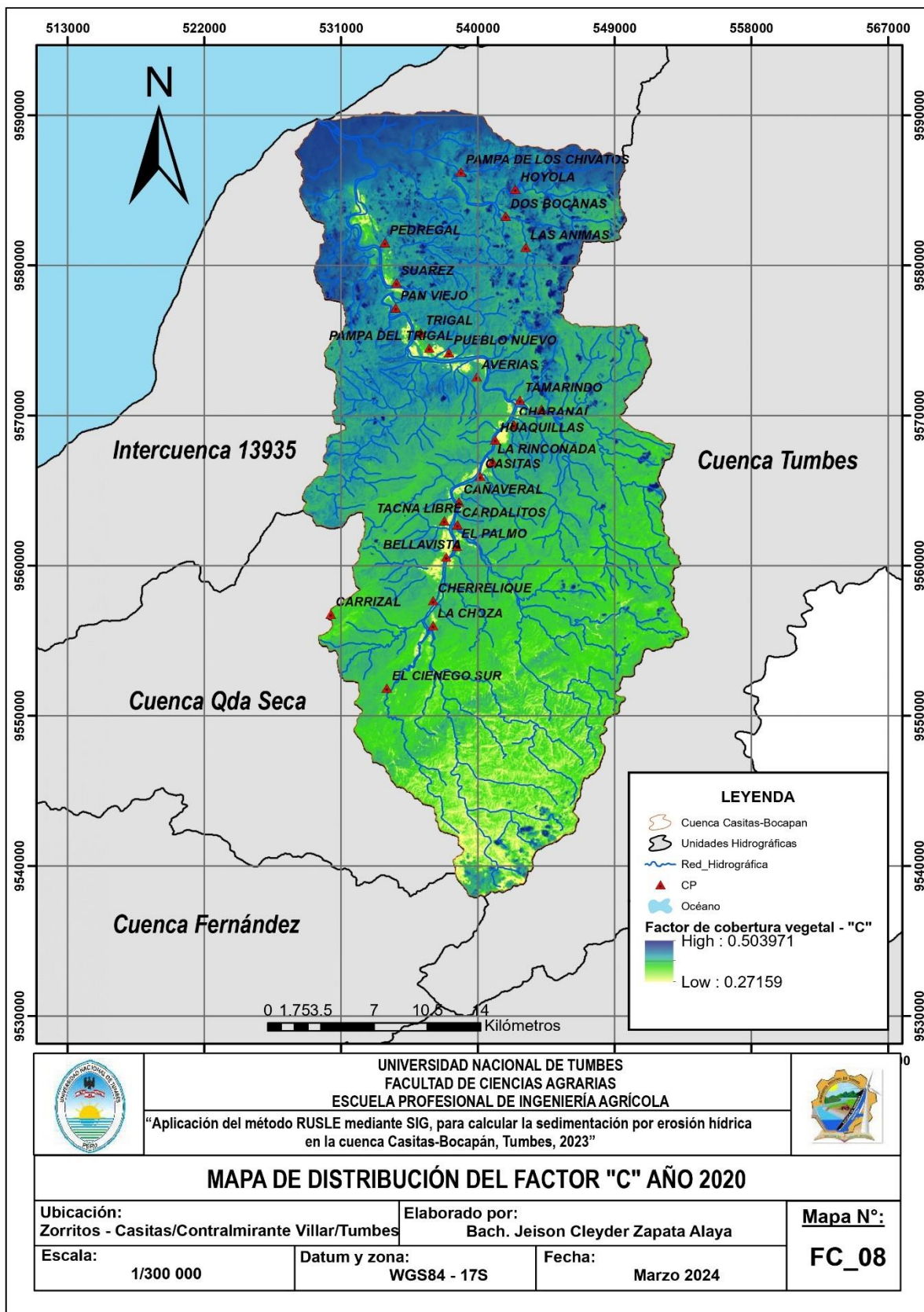


# Anexo 17: Mapa de factor de Cobertura Vegetal año 2019

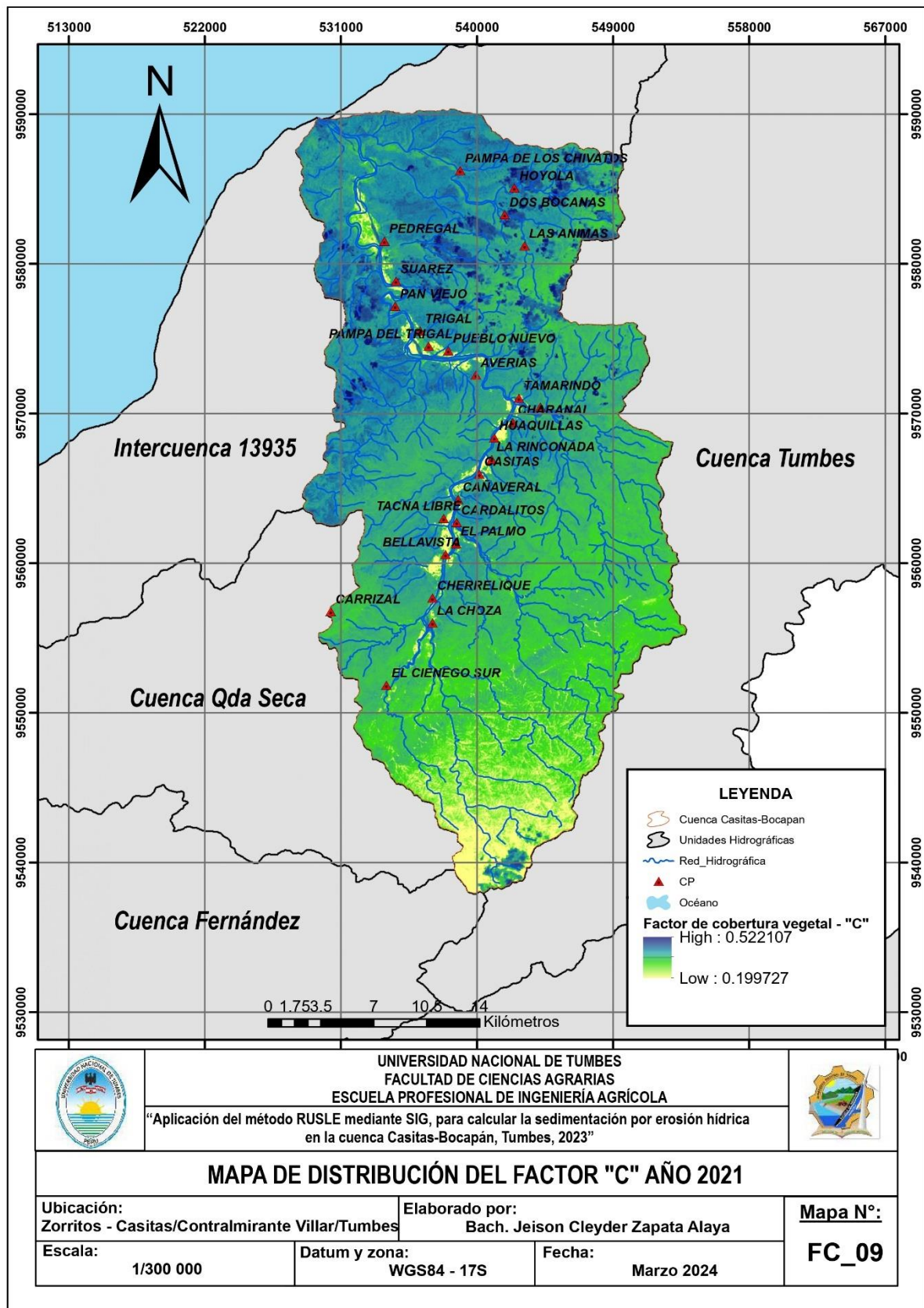




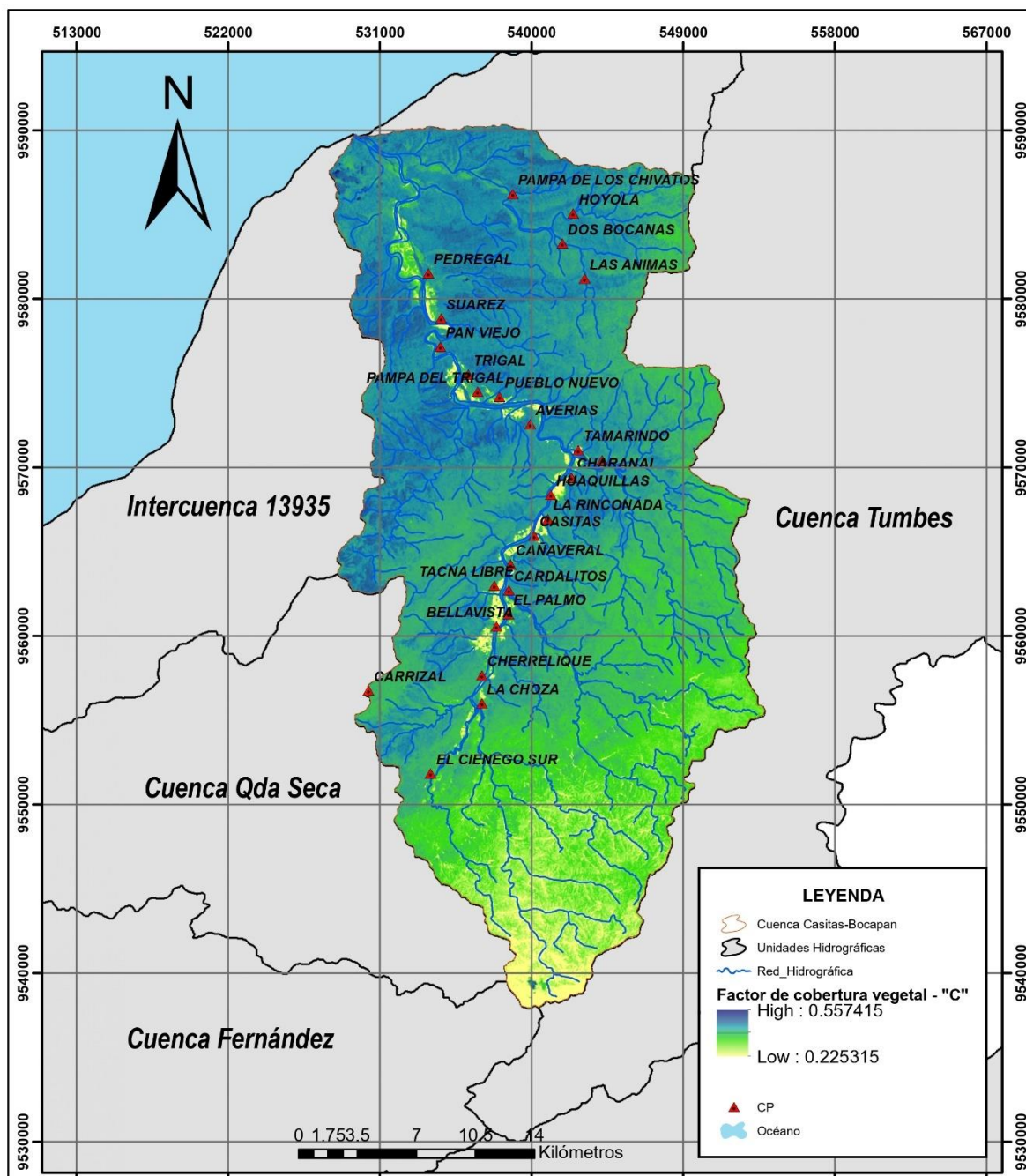
## Anexo 18: Mapa de factor de Cobertura Vegetal año 2020



Anexo 19: Mapa de factor de Cobertura Vegetal año 2021

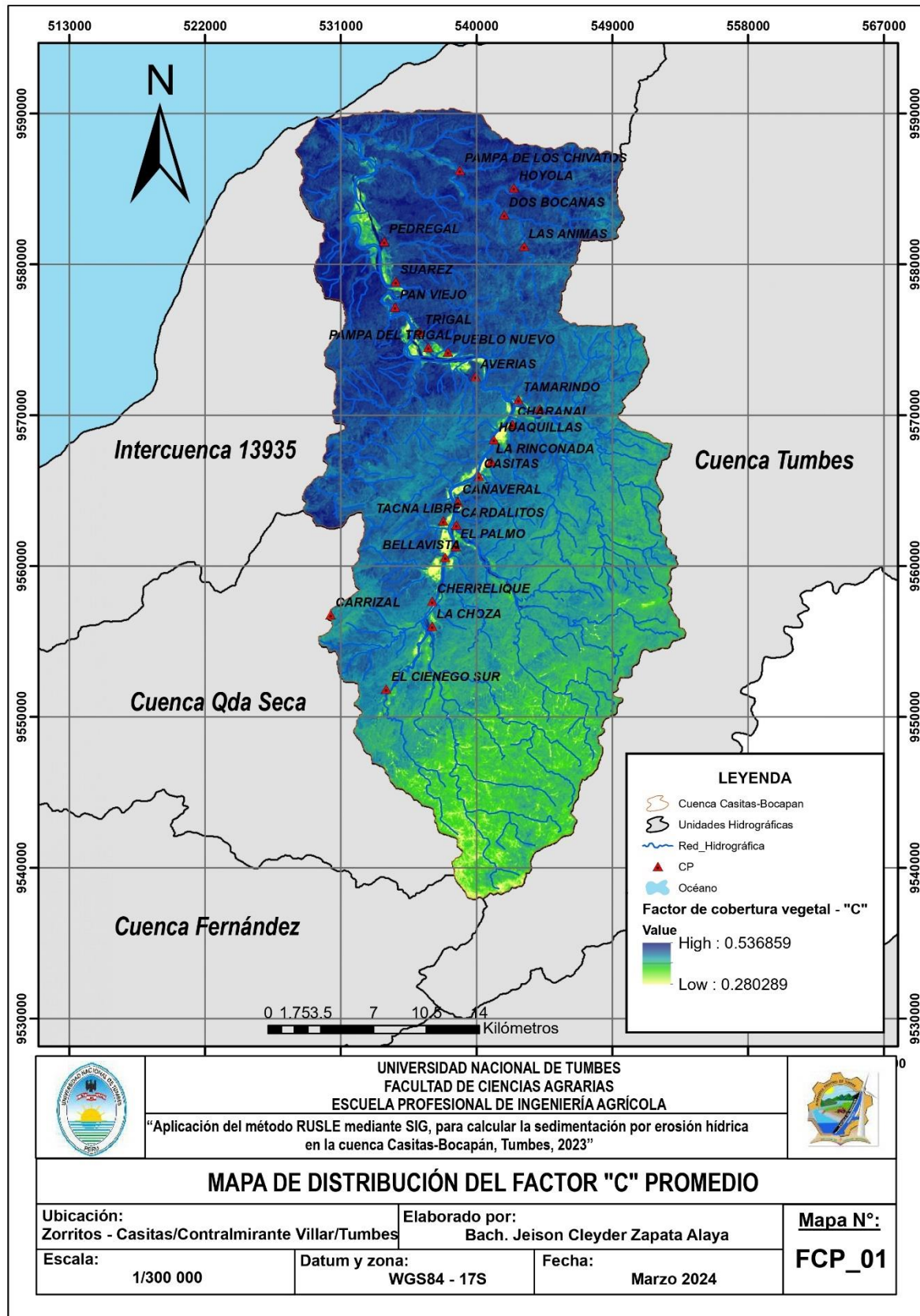


**Anexo 20: Mapa de factor de Cobertura Vegetal año 2022**

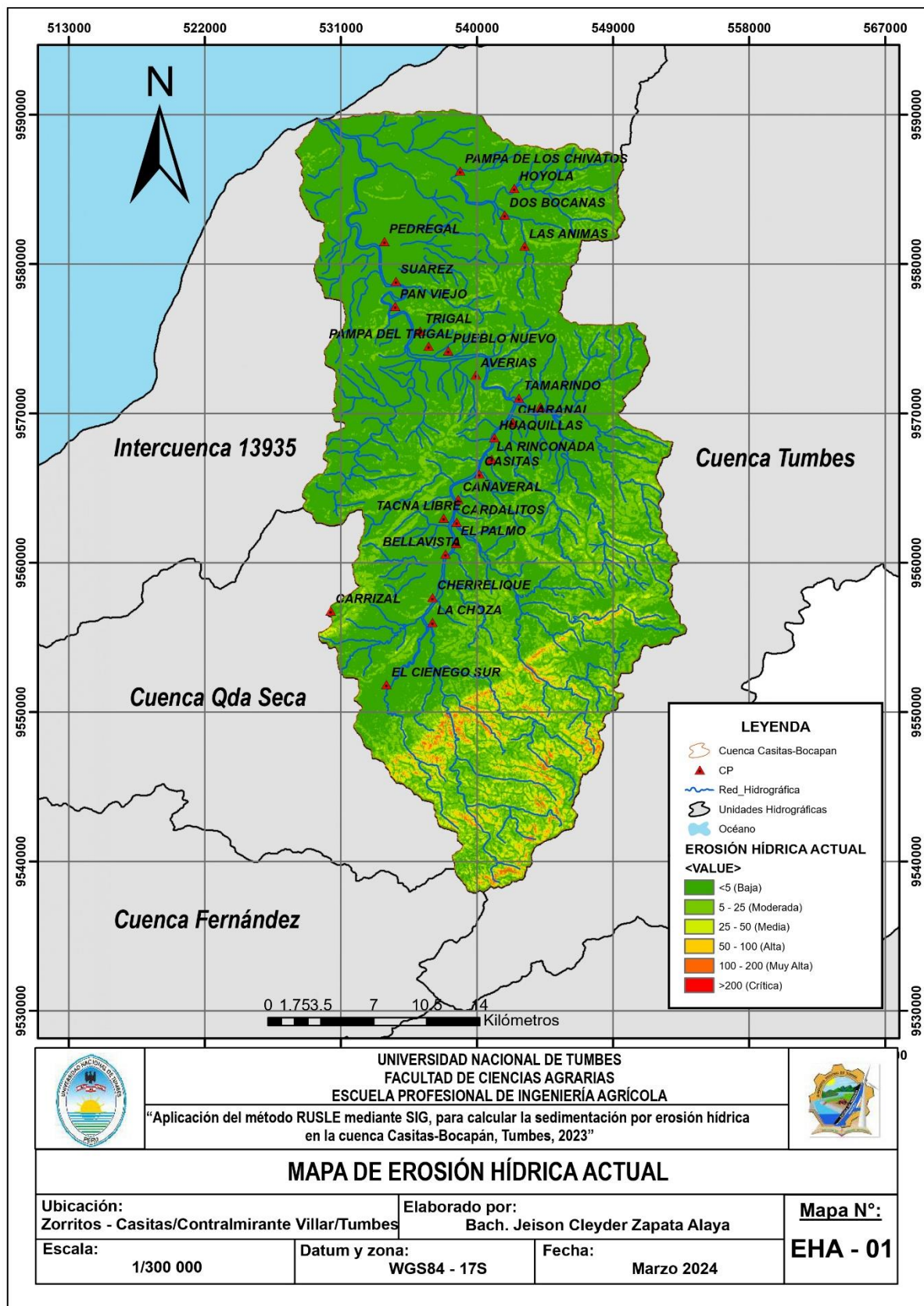


	<p><b>UNIVERSIDAD NACIONAL DE TUMBES</b>  <b>FACULTAD DE CIENCIAS AGRARIAS</b>  <b>ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA AGRÍCOLA</b></p>	
<p>“Aplicación del método RUSLE mediante SIG, para calcular la sedimentación por erosión hídrica en la cuenca Casitas-Bocapan, Tumbes, 2023”</p>		
<p><b>MAPA DE DISTRIBUCIÓN DEL FACTOR "C" AÑO 2022</b></p>		
<p><b>Ubicación:</b> Zorritos - Casitas/Contralmirante Villar/Tumbes</p>	<p><b>Elaborado por:</b> Bach. Jeison Cleyder Zapata Alaya</p>	<p><b>Mapa N°:</b></p>
<p><b>Escala:</b> 1/300 000</p>	<p><b>Datum y zona:</b> WGS84 - 17S</p>	<p><b>Fecha:</b> Marzo 2024</p>
		<p><b>FC_10</b></p>

## Anexo 21: Mapa de factor de Cobertura Vegetal Promedio



## Anexo 22: Mapa de Erosión hídrica actual



**Anexo 23: Mapa de Erosión hídrica potencial.**

