

**UNIVERSIDAD NACIONAL
TORIBIO RODRÍGUEZ DE MENDOZA DE AMAZONAS**



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

**TESIS PARA OBTENER EL TÍTULO PROFESIONAL DE:
INGENIERA AMBIENTAL**

**ESTIMACIÓN DE PÉRDIDA DE SUELO POR EROSIÓN
HÍDRICA USANDO LA ECUACIÓN UNIVERSAL DE
PÉRDIDA DE SUELO (U.S.L.E) EN LA SUBCUENCA
CHINATA, AMAZONAS, 2018**

Autor (a): Bach. Carmen Elvira Puerta Tuesta

Asesor: Ing. M.Sc. Jaris Emmanuel Veneros Guevara

Registro:

CHACHAPOYAS – PERÚ

2018

**UNIVERSIDAD NACIONAL
TORIBIO RODRÍGUEZ DE MENDOZA DE AMAZONAS**



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

**TESIS PARA OBTENER EL TÍTULO PROFESIONAL DE:
INGENIERA AMBIENTAL**

**ESTIMACIÓN DE PÉRDIDA DE SUELO POR EROSIÓN
HÍDRICA USANDO LA ECUACIÓN UNIVERSAL DE
PÉRDIDA DE SUELO (U.S.L.E) EN LA SUBCUENCA
CHINATA, AMAZONAS, 2018**

Autor (a): Bach. Carmen Elvira Puerta Tuesta

Asesor: Ing. M.Sc. Jaris Emmanuel Veneros Guevara

Registro:

CHACHAPOYAS – PERÚ

2018

DEDICATORIA

A mis padres:

Homero e Irma por su confianza en mí, por ser los pilares fundamentales en mi formación y por su constante apoyo.

A mis hermanos:

Por ser el espejo en el que quiero reflejarme, y ser el soporte que me acompañaron en todo momento.

AGRADECIMIENTO

Al Instituto de Investigación para el desarrollo Sustentable de Ceja de Selva (INDESCES) de la Universidad Nacional Toribio Rodríguez de Mendoza de Amazonas (UNTRM) que a través de su Laboratorio de Agua y Suelos (LABISAG), me brindaron las facilidades para el desarrollo de esta investigación.

Al docente M.Sc. Jaris Emmanuel Veneros Guevara por su oportuna asesoría y orientación, que me ha permitido concretar esta investigación.

A todas personas que me apoyaron de diversas maneras en el proceso de esta investigación; docentes, colegas, amigos y familiares.

**AUTORIDADES DE LA UNIVERSIDAD NACIONAL TORIBIO RODRÍGUEZ
DE MENDOZA**

.....
Dr. POLICARPIO CHAUCA VALQUI

Rector

.....
Dr. MIGUEL ANGEL BARENA GURBILLÓN

Vicerrector Académico

.....
Dra. FLOR TERESA GARCÍA HUAMAN

Vicerrectora de Investigación

.....
Dr. OSCAR ANDRÉS GAMARRA TORRES

Decano de la Facultad de Ingeniería Civil y Ambiental

VISTO BUENO DEL ASESOR

El docente de la Universidad Nacional Toribio Rodríguez de Mendoza de Amazonas que suscribe, hace constar que he asesorado la realización de la tesis titulada "ESTIMACIÓN DE PÉRDIDA DE SUELO POR EROSIÓN HÍDRICA USANDO LA ECUACIÓN UNIVERSAL DE PÉRDIDA DE SUELO (U.S.L.E) EN LA SUBCUENCA CHINATA, AMAZONAS, 2018" de la tesista egresada de la Escuela Profesional de Ingeniería Ambiental:

Bach. CARMEN ELVIRA PUERTA TUESTA

El docente de la Universidad Nacional Toribio Rodríguez de Mendoza de Amazonas que suscribe, da el Visto Bueno al Informe Final de la tesis en mención, dándole pase para que sea sometida a la revisión por el Jurado Evaluador, comprometiéndome a supervisar el levantamiento de observaciones para su posterior sustentación.

Chachapoyas, diciembre de 2018.

.....
Ing. M.Sc. Jaris Emmanuel Veneros Guevara

Asesor de tesis

DECLARACIÓN JURADA DE NO PLAGIO

Yo, Carmen Elvira Puerta Tuesta, identificada con DNI 70158683, Bachiller en Ingeniería Ambiental de la Facultad de Ingeniería Civil y Ambiental de la Universidad Nacional Toribio Rodríguez de Mendoza de Amazonas.

Declaro bajo juramento que:

1. Soy autora de la tesis titulada: **“ESTIMACIÓN DE PÉRDIDA DE SUELO POR EROSIÓN HÍDRICA USANDO LA ECUACIÓN UNIVERSAL DE PÉRDIDA DE SUELO (U.S.L.E) EN LA SUBCUENCA CHINATA, AMAZONAS, 2018”**

La misma que presento para optar: TÍTULO PROFESIONAL DE INGENIERA AMBIENTAL

2. La tesis no ha sido plagiada ni total ni parcialmente, para la cual se han respetado las normas internacionales de citas y referencias para las fuentes consultadas.
3. La tesis presentada no atenta contra derechos de terceros.
4. La tesis no ha sido publicada ni presentada anteriormente para obtener algún grado académico previo o título profesional.
5. Los datos presentados en los resultados son reales, no han sido falsificados, ni duplicados, ni copiados.

Por lo expuesto, mediante la presente asumo toda la responsabilidad que pudiera derivarse por la autoría, originalidad y veracidad del contenido de la tesis, así como por los derechos sobre la obra y/o invención presentada. Asimismo, por la presente me comprometo a asumir además todas las cargas pecuniarias que pudieran derivarse para LA UNTRM en favor de terceros por motivo de acciones, reclamaciones o conflictos derivados del incumplimiento de lo declarado o las que encontraren causa en el contenido de la tesis.

De identificarse fraude, piratería, plagio, falsificación o que el trabajo de investigación haya sido publicado anteriormente; asumo las consecuencias y sanciones civiles y penales que de mi acción deriven.

Chachapoyas, diciembre del 2018.

JURADO EVALUADOR

.....
PhD. Danilo Edson Bustamante Mostajo

PRESIDENTE

.....
Ing. Rolando Salas López

SECRETARIO

.....
Ing. Elgar Barboza Castillo

VOCAL



ANEXO 2-N

ACTA DE EVALUACIÓN DE SUSTENTACIÓN DE LA TESIS

En la ciudad de Chachapoyas, el día 17 de diciembre del año 2018, siendo las 9am horas, el aspirante: Carmen Elvira Puerta Tuesta defiende públicamente la tesis titulada: Estimación de pérdida de suelo por erosión hídrica usando la ecuación universal de pérdida de suelo (USLE) en la subcuenca CHINATA, Amazonas, 2018 para optar el Título Profesional Ingeniero Ambiental, otorgado por la Universidad Nacional Toribio Rodríguez de Mendoza de Amazonas, ante el Jurado, constituido por: Presidente: Daniela Edison Bustamante Mostajo Ph.D.
 Secretario: Ing. Edmundo Salas López
 Vocal: Ing. Elgar Barboza Castillo



Procedió el (los) aspirante (s) a hacer la exposición de los antecedentes, contenido de la tesis y conclusiones obtenidas de la misma, haciendo especial mención de sus aportaciones originales. Terminada la defensa de la tesis presentada, los miembros del jurado pasaron a exponer su opinión sobre la misma, formulando cuantas cuestiones u objeciones consideraran oportunas, las cuales fueron contestadas por el los aspirante (s).

Tras la intervención de los miembros del jurado y las oportunas contestaciones del aspirante, el Presidente abre un turno de intervenciones para los miembros del jurado presentes en el acto, a fin de que formulen las cuestiones u objeciones que consideren pertinentes.

Seguidamente, a puerta cerrada, el jurado determinará la calificación global concedida a la tesis, en términos de:

Notable o sobresaliente () Aprobado (X) No apto ()

Otorgada la calificación el presidente del Jurado comunica, en sesión pública, la calificación concedida. A continuación se levanta la sesión.

Siendo las 10.00am horas del mismo día, el jurado concluye el acto de sustentación de la tesis.

[Signature]
SECRETARIO

[Signature]
PRESIDENTE

[Signature]
VOCAL

OBSERVACIONES:

ÍNDICE

DEDICATORIA.....	i
AGRADECIMIENTO.....	ii
AUTORIDADES DE LA UNIVERSIDAD NACIONAL TORIBIO RODRÍGUEZ DE MENDOZA DE AMAZONAS.....	iii
VISTO BUENO DEL ASESOR DE TESIS.....	iv
DECLARACIÓN JURADA DE NO PLAGIO.....	v
JURADO EVALUADOR.....	vi
ACTA DE SUSTENTACIÓN.....	vii
ÍNDICE.....	viii
LISTA DE TABLAS.....	ix
LISTA DE FIGURAS.....	x
RESUMEN.....	xi
ABSTRACT.....	xii
I. INTRODUCCIÓN.....	1
II. MATERIAL Y MÉTODOS.....	3
2.1 Materiales y Equipos.....	3
2.1.1 Cartografía base.....	3
2.2 Área de estudio.....	3
2.3 Diseño de la investigación.....	6
2.4 Población, muestra y muestreo.....	6
2.5 Delimitación de la cuenca.....	7
2.6 Determinación de los Factores de la Ecuación Universal de la Pérdida de Suelo.....	7
2.6.1 Metodología para determinar el Factor de Erosividad de la lluvia (R).....	8
2.6.2 Metodología para determinar el Factor de Erodabilidad (K).....	15
2.6.3 Metodología para determinar el factor LS.....	24
2.6.4 Metodología para determinar el factor C.....	24
2.7 Análisis de datos.....	28
III. RESULTADOS.....	29
IV. DISCUSIÓN.....	45
V. CONCLUSIONES.....	47
VII. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	48
VIII. ANEXOS.....	53

LISTA DE TABLAS

		Página
Tabla 1.	Características de la Subcuenca Chinata según Figura 1	4
Tabla 2.	Reconstrucción de datos meteorológicos para la estación de Mendoza con los datos de la estación de Chachapoyas	12
Tabla 3.	Precipitación acumulada anual de las estaciones meteorológicas del INDES-CES y SENAMHI	13
Tabla 4.	Valores del Factor R	14
Tabla 5.	Descripción de las clases texturales	20
Tabla 6.	Valores de K Asociados a la textura y al contenido de materias orgánica, método de Kirkby y Morgan	23
Tabla 7.	Valores del Factor C	28
Tabla 8.	Valores para el Factor de Erodabilidad (K) asociados a la Textura y Materia Orgánica para la Subcuenca Chinata	36
Tabla 9.	Factor Topográfico (LS) en la Subcuenca Chinata	38
Tabla 10.	Factor C en la Subcuenca Chinata	40
Tabla 11.	Tasa de erosión de suelo en la Subcuenca Chinata	44
Tabla 12.	Puntos de muestreo de suelos en la Subcuenca Chinata	56
Tabla 13.	Puntos de control terrestre tomados dentro y fuera de la Subcuenca	61

LISTA DE FIGURAS

	Página
Figura 1. Ubicación de la Subcuenca Chinata en la provincia de Bongará	5
Figura 2. Flujo metodológico para determinar la pérdida de suelo por erosión hídrica en la Subcuenca Chinata usando la ecuación USLE	6
Figura 3 Ubicación de las estaciones meteorológicas del INDES-CES y del SENAMHI	10
Figura 4. Triángulo de clase textural	19
Figura 5. Combinación de las bandas 4, 3,2 de la imagen satelital en ArcMap	26
Figura 6 Cobertura de Páramo en la parte alta de la Subcuenca Chinata	26
Figura 7. Cobertura de Bosque en la parte alta de la Subcuenca Chinata	27
Figura 8. Cultivo de pasto en la parte media de la Subcuenca Chinata	27
Figura 9. Área sin cobertura vegetal	28
Figura 10. Precipitación Acumulada Anual en la Subcuenca Chinata, Amazonas	30
Figura 11. Factor de Erosividad en la Subcuenca Chinata, Amazonas	32
Figura 12. Clases texturales en la Subcuenca Chinata, Amazonas	34
Figura 13. Contenido de Materia Orgánica en la Subcuenca Chinata, Amazonas	35
Figura 14. Factor de Erodabilidad del suelo de la Subcuenca Chinata	37
Figura 15. Factor Topográfico para la Subcuenca Chinata	39
Figura 16. Factor Tipos de Cobertura para la Subcuenca Chinata	41
Figura 17. Pérdida de suelo por Erosión Hídrica en la Subcuenca Chinata	43
Figura 18 Zonas de vida en la Subcuenca Chinata	55
Figura 19. Muestreo de suelos en la Subcuenca Chinata	57
Figura 20. Resultados del análisis de las Muestras realizadas en el Laboratorio de Aguas y Suelos (LABISAG) del INDES-CES	60
Figura 21. Ubicación de los puntos para muestreo de suelo en la Subcuenca Chinata	63

RESUMEN

Las actividades que se realizan, desconociendo las potencialidades y limitaciones en el uso del suelo, provocan degradación de los recursos naturales. La erosión hídrica es uno de las principales causas de degradación del suelo en la Subcuenca Chinata. En este estudio se realizó un análisis de la pérdida de suelo en la Subcuenca Chinata, mediante aplicación de la Ecuación Universal de Pérdida de Suelos (USLE) y Sistemas de Información geográfica (SIG). Los factores de erosión de USLE evaluados fueron: la erosividad de las lluvias (R), la erodabilidad del suelo (K), el factor topográfico (LS) el factor prácticas de conservación (P) y el factor de cobertura (C). Se elaboró una geodatabase con datos de precipitaciones, datos de suelos, datos de topografía y cobertura del suelo a partir de imágenes de satélite Landsat 8 y la cartografía nacional. La Teledetección y los Sistemas de Información Geográfica (SIG), hicieron posible la evaluación de los factores de erosión mencionados y la elaboración de los respectivos mapas. Los resultados muestran que el valor de la precipitación oscila de los 714,71 a 1075,53mm, el Factor R de 3465,7 MJ.mm.ha⁻¹.año⁻¹ a 7669,24 MJ.mm.ha⁻¹.año⁻¹; la erodabilidad de 0,011 (t/ha/h) (MJ/mm/ha)⁻¹ hasta un valor de 0,038 (t/ha/h) (MJ/mm/ha)⁻¹, el factor topográfico con valores de más de 20%, el factor prácticas de conservación igual a 1 y el factor cobertura con un valor mínimo de 0.0001 hasta 1. Por lo tanto la pérdida de suelo en la Subcuenca Chinata fue de 8, 891 t.ha⁻¹año⁻¹ que afecta al 5,41% del área de la subcuenca y por lo contrario el 93,85 % presenta erosión de tipo ligera, con una pérdida inferior a 10 t.ha⁻¹año⁻¹.

Palabras clave: Erosión hídrica, USLE, Teledetección, SIG, Riesgo de erosión.

ABSTRACT

The activities that are being carried out, disregarding the potentials and limitations in the use of the soil, cause degradation of natural resources. Water erosion is one of the main causes of soil degradation in the sub-watershed Chinata. In this study an analysis was made of the loss of ground in the sub-watershed Chinata, through implementation of the equation of Universal Soil Loss (USLE) and Geographic Information Systems (GIS). The factors of erosion of USLE evaluated were: the erosivity rainfall (R), water erodibility of soil (K), the topographic factor (LS) the factor conservation practices (P) and the coverage factor (C). Produced a geodatabase with data on rainfall, soil data, data of topography and soil cover on the basis of Landsat satellite images 8 and national cartography. The Remote sensing and the Geographical information systems (SIG), they made possible the evaluation of the mentioned factors of erosion and the making of the respective maps. The results show that the value of the precipitation ranges from 714,71 to 1075,53mm, the Factor R of 3465,7 MJ.mm.ha⁻¹.year⁻¹ to 7669,24 MJ.mm.ha⁻¹.year⁻¹; water erodibility of 0.011 (t/ha/h) (MJ/mm/ha)⁻¹ until a value of 0.038 (t/ha/h) (MJ/mm/ha)⁻¹, the topographic factor with values of more than 20%, the factor conservation practices equal to 1 and the factor coverage with a minimum value of 0.0001 to 1. Therefore the loss of ground in the sub-watershed Chinata was 1415 t.ha⁻¹year⁻¹ that affects the 5.41 per cent of the area of the sub-basin and on the contrary the 93,85 % presented erosion of type light with a loss of less than 10 t.ha⁻¹year⁻¹.

Keywords: *Water erosion, USLE, Remote sensing, SIG, Risk of erosion.*

I. INTRODUCCIÓN

En el año 2050, la población mundial será de 9 100 millones de personas (FAO, 2011), esta tendencia de crecimiento continuará al ritmo de 83 millones de personas más cada año (ONU, 2017). Así mismo, la demanda mundial de alimentos se incrementará en un 60% por encima de los niveles del 2006 (FAO, 2016). Esta demanda, debe ser atendida por la agricultura. Sin embargo esta actividad es la que más provoca el deterioro del suelo. A ello se suma la erosión causada por el cambio climático que provoca una pérdida del 0,3% de la productividad del rendimiento anual de los cultivos. Si esta tasa de pérdida de suelo continúa sin cambios en el futuro; para el año 2050 se estima que se llegará a tener una reducción total del 10% del rendimiento potencial anual del mismo (FAO, 2015).

Actualmente a nivel mundial, la pérdida de tierra fértil por causa de la erosión es alrededor de 75 mil millones de toneladas (FAO, 2017). La erosión del suelo se define como un proceso de disgregación, transporte y deposición de las partículas, materia orgánica y nutriente soluble por acción de agentes erosivos. Los procesos erosivos son muy variables en el tiempo y en el espacio. Si clasificamos la erosión del suelo atendiendo a los procesos que la desencadenan podemos distinguir la erosión eólica y la erosión hídrica (FAO, 2011). La erosión del suelo está influenciada por factores como el clima, el tipo de suelo, la topografía, el manejo de cultivos y las prácticas de conservación. Además, entre las causas de este fenómeno destacan factores como la cobertura vegetal. La presencia de cobertura vegetal tiene tres beneficios: aumenta la estabilidad de los agregados del suelo, incrementa la capacidad de infiltración y frena la escorrentía (García, 2004). De otra manera, la precipitación produce impactos a través de la salpicadura de las gotas de lluvia e incrementa el transporte de las partículas de suelo debido a los flujos laminares que genera en la superficie (Dumas, 2012). Así mismo, la topografía puede generar un aumento en la velocidad de la escorrentía dependiendo del ángulo y la longitud de la pendiente (FAO, 2000). Finalmente, el uso de suelo para actividades agrícolas modifica la cantidad de material vegetal, este desequilibrio provoca la degradación de nutrientes y carbono lo que incide en

las propiedades fisicoquímicas, por ende se reduce la estabilidad del suelo y hay mayor susceptibilidad a la erosión (López, 2014).

Rodríguez *et al.* (1991) afirma que la Región Amazonas contaba con 540 000 ha de terreno apto para cultivo en limpio, lo que representaba el 1,57% del total de la Región (34 456 100 ha), y al 11% a nivel nacional (4 902 000 ha). En el año 2010 según la Zonificación Ecológica Económica de Amazonas (ZEE), esta Región solo contó con 25 921 ha de tierras aptas para cultivo en limpio de calidad agroecológica media con limitaciones por suelo e inundación, el cual representó el 0,62% de la superficie a nivel nacional; lo que significa una pérdida del 10,38% de terreno en 19 años. De igual manera, en la Región Amazonas en el año 2016 contaba con una superficie de 2 847 639 ha de bosque, de los cuales se han perdido 72 364 ha por efecto de la deforestación. El 55% del área deforestada se dio en parcelas con tamaño menor a 1 ha, el 27 % en parcelas con tamaño entre 1 a 5 ha, y el 18% de área deforestada tuvo lugar en parcelas con una superficie superior a 50 ha (INEI, 2016). Según el Gobierno Regional de Amazonas para el año 2015 reportó que en la provincia de Bongará se han deforestado 3000 ha de bosque. Por lo que, los problemas de la calidad del suelo y deforestación deben ser atendidos (Dourojeanni *et al.*, 2010).

Los problemas de erosión de suelo en la Subcuenca Chinata pueden ser cuantificados en tn/ha/año con el análisis espacial de información temática (Carpintero *et al.*, 2007). Estos análisis nos permiten tomar decisiones y plantear medidas para la conservación de suelos, adaptación y mitigación frente al cambio climático (Hill *et al.*, 2014). Esto se pudo lograr a través de modelos matemáticos y el uso de los SIG. En consecuencia, la presente investigación tuvo como objetivo principal, analizar la erosión hídrica del suelo aplicando la ecuación USLE para la conservación de la Subcuenca Chinata y como objetivos específicos, determinar los factores de erosión hídrica propuestos en la ecuación USLE y estimar el volumen de suelo perdido por erosión hídrica tn/ha/año.

II. MATERIAL Y MÉTODOS

2.1 Materiales y equipos

Durante el desarrollo de la investigación se emplearon los siguientes recursos:

- GPS Garmin Oregon 600
- Cámara digital Canon EOS5
- Laptop Toshiba Core i5-4GB RAM
- Programa ArcGis 10.5
- USB de 8GB
- Impresora láser HP Laserjet.
- Mapas cartográficos

2.1.1 Cartografía base

Se utilizó la hoja 12-h de la carta nacional del Instituto Geográfico Nacional (IGN) a escala 1:100 000, la red vial del Ministerio de Transportes y Comunicaciones (MTC), la información de la división política del Perú elaborada por el Instituto Nacional de Estadística e Informática (INEI), el Modelo de Elevación Digital (DEM) del satélite ASTER de resolución 30m por 30m, la imagen del satélite Landsat 8 de resolución 30m por 30m y los mapas temáticos de la Zonificación Ecológica Económica de Amazonas (GRA & IIAP, 2010).

2.2 Área de estudio

La Subcuenca Chinata se localiza en el interior de la Cuenca del Utcubamba en el departamento de Amazonas, provincia de Bongará, que involucra 4 distritos (Jazán, Cuispes, Jumbilla, San Carlos). Limita al Norte con la quebrada Jumbillacu, al Este con el Río Chimayo, y al Oeste con la quebrada Don Huayco. Desciende desde la altura de 3282 msnm y desemboca en el río Utcubamba a los 1350 msnm (Tabla 1 y Figura 1). Se ubica entre los extremos de las coordenadas 9338277,79 Norte y 183758,53 Este (parte alta) y 9343343,51 Norte y 171827,23 Este (parte baja o desembocadura).

La Subcuenca Chinata, presenta un clima ligeramente húmedo y templado cálido, el cual está influenciado por la cordillera de los Andes y la cercanía a la zona ecuatorial y amazónica. Las temperaturas mínimas y máximas oscilan entre los 15°C a 32°C respectivamente y la humedad varía desde 73% a 90%. La precipitación promedio mensual en esta provincia es de 225.6 mm. (Gobierno Regional de Amazonas, 2013).

Tabla 1. Características de la Subcuenca Chinata según Figura 1

Área	5404,00 ha	
Perímetro	56,26 km	
Longitud del cauce principal	13,27 km	
Límites	Norte	Distrito de Cuispes
	Este	Distrito de Jumbilla
	Oeste	Distrito de San Carlos
	Sur	Distrito de Jazán

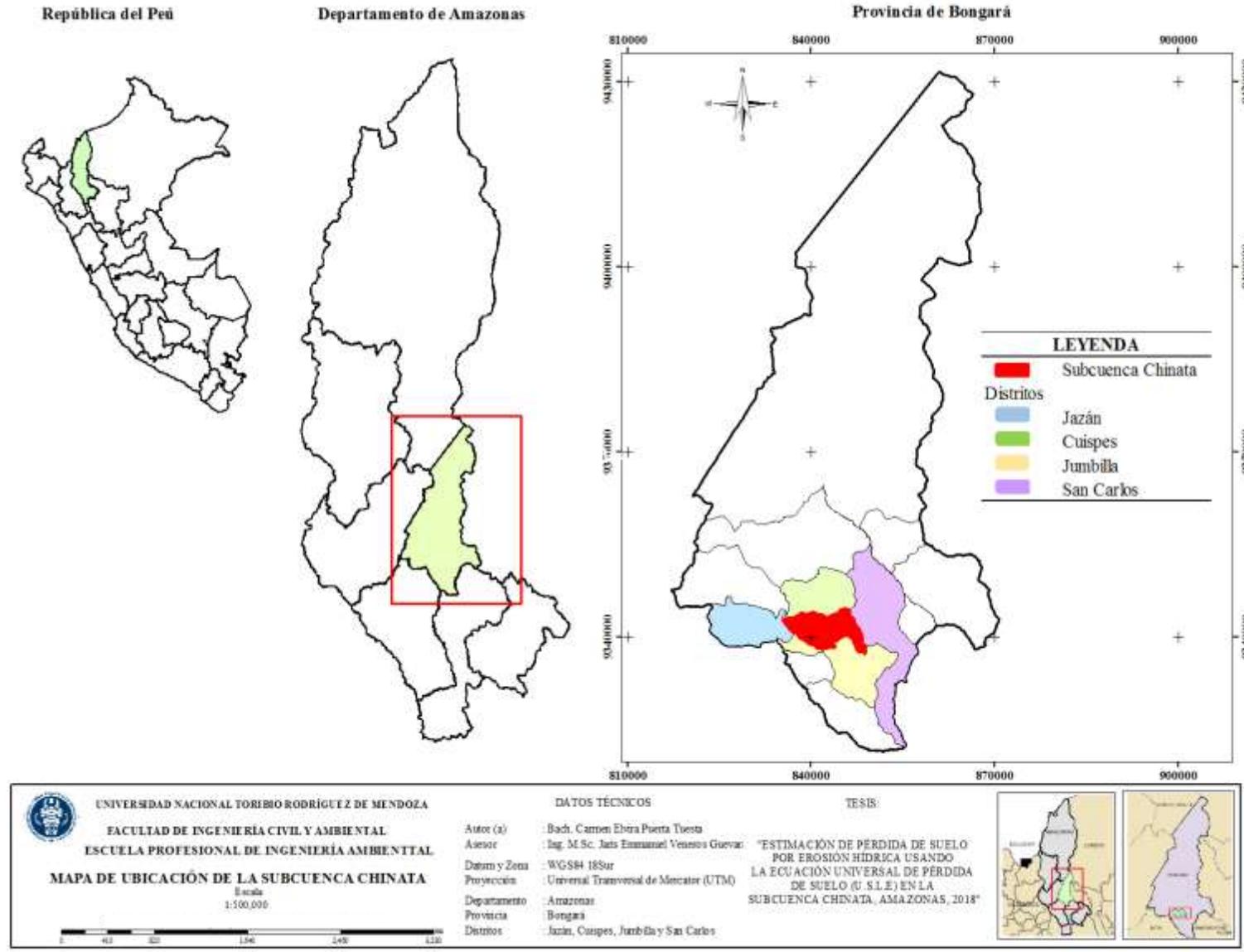


Figura 1. Ubicación de la Subcuenca Chinata en la provincia de Bongará

2.3 Diseño de la investigación

El flujo metodológico para la determinación de la pérdida de suelo por erosión hídrica en la Subcuenca Chinata usando la ecuación USLE, se resume en el siguiente flujo metodológico (Figura 2):

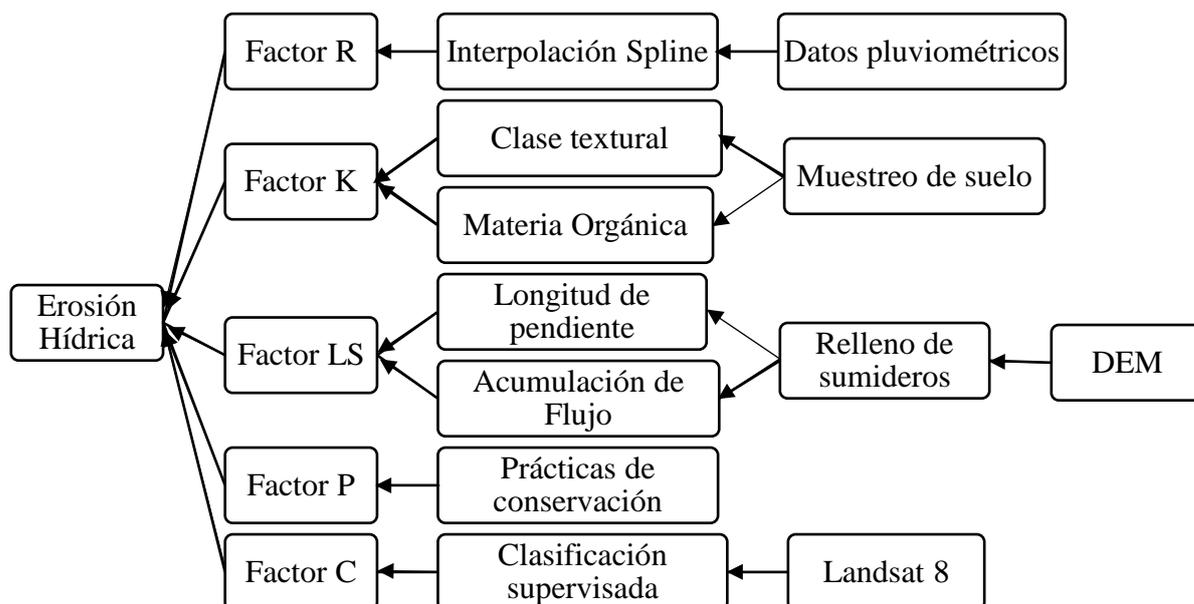


Figura 2. Flujo metodológico para determinar la pérdida de suelo por erosión hídrica en la Subcuenca Chinata usando la ecuación USLE

2.4 Población, muestra y muestreo

Población: La población está conformada por la Subcuenca Chinata la cual abarca los distritos de San Carlos, Cuispes, Jazán y Jumbilla, en la provincia de Bongará, Amazonas.

Muestra:

Para determinar el Factor de Erosividad (R)

Para determinar el Factor (R) se utilizó datos de precipitación, para ello se consideraron como muestra a las 20 estaciones meteorológicas del INDES-CES y del Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología del Perú (SENAMHI), las cuales se encontraban cercanas al área de estudio.

Para determinar el Factor de Erodabilidad (K)

Para determinar el Factor (K) se establecieron 25 puntos de muestreo de suelo dentro de la Subcuenca, a partir de los cuales se obtuvieron datos de textura y contenido de materia orgánica.

Muestreo:

El tipo de muestreo que se realizó fue dirigido o a juicio de expertos propuestos por el MINAM (2014). Se llevó a cabo sobre 25 puntos específicamente determinados, ya que se contó con información espacial de las Zonas de Vida de la ZEE de la Subcuenca Chinata. El tipo de muestreo fue compuesto, donde cada punto de muestreo estaba conformado por 05 sub muestras de suelo (Anexo 5).

2.5 Delimitación de la cuenca

Para la delimitación de la Subcuenca Chinata se utilizó el programa ArcGIS *versión* 10.5 y la herramienta ArcHydro Tools. El modelo posee herramientas hidrológicas que permitió modelar el flujo de agua a través de una superficie de un Modelo de Elevación Digital (DEM) obtenido del satélite ASTER, para generar las corrientes y definir el parteaguas de la Subcuenca Chinata.

2.6 Determinación de los Factores de la Ecuación Universal de la Pérdida de Suelo

La Ecuación Universal de la Pérdida de Suelo (USLE) es un modelo empírico desarrollado por Wischmeier & Smith en 1978 (citado por Cabrejos, 2016), en el que la pérdida de suelo está expresada como masa por unidad de área por unidad de tiempo y es una función del efecto combinado de seis factores, tales como: Factor de erosividad de la lluvia (R); Factor de erodabilidad del suelo (K); Factor longitud de pendiente (L); Factor grado de la pendiente (S); Factor manejo del cultivo (C) y el Factor prácticas de conservación (P). La ecuación USLE ayuda a predecir las variaciones en la erosión en función de los cambios en el uso y manejo del suelo y la vegetación.

La función que describe el proceso se expresa en la siguiente ecuación:

$$A = R * K * LS * C * P \quad \text{Ecuación (1)}$$

Dónde:

A: Pérdida media anual de suelo expresado en (t/ha⁻¹/año⁻¹).

R: Erosividad de la lluvia medido en (MJ/mm) (ha/h) ⁻¹

K: Erodabilidad del suelo expresado en (t/ha/h) (MJ/mm/ha) ⁻¹

LS: Longitud y gradiente de la pendiente.

C: Cubierta vegetal y manejo del recurso, sin unidades de medida.

P: Prácticas de conservación aplicada, sin unidades de medida.

2.6.1 Metodología para determinar el Factor de Erosividad de la lluvia (R)

El Factor Erosividad de la lluvia es un índice numérico que expresa la capacidad de la lluvia para erosionar el suelo, se define como la suma del producto de la energía total de la precipitación por su máxima intensidad en treinta minutos para todos los eventos importantes de precipitación en un área durante un año promedio (Colotti, 1999).

$$R = \sum_{i=1}^n (EI_{30})_i \quad \text{Ecuación (2)}$$

Donde:

E: Energía cinética de la lluvia en kg m (m² mm)⁻¹

I30: Intensidad de la lluvia en 30 min en mm h⁻¹

n: Número de tormentas en el año .

Para determinar el Factor de Erosividad de la lluvia (R) para la Subcuenca Chinata se empleó la ecuación 3; esta ecuación la utilizaron Flores *et al.* (2003) al existir ausencia de pluviógrafos dentro de su área de estudio, cuyo caso se repite para la Subcuenca Chinata.

$$Y = -0,0334X + 0,006661X^2 \quad \text{Ecuación (3)}$$

Donde:

Y: Valor de EI30 anual en (MJ mm) (ha hr)⁻¹

X: Lluvia anual en mm

Obtención de los datos de precipitación acumulada anual

Para calcular los datos de precipitación acumulada anual, se recopiló datos pluviométricos disponibles en la zona de estudio, para ello se contó con datos de 20 estaciones meteorológicas distribuidas alrededor de la subcuenca (Figura 3, Tabla 3), algunos de los datos fueron proporcionados por el INDES-CES y otros recopilados del SENAMHI, donde los registros más antiguos correspondían al año 2013.

Finalmente, se determinó la precipitación acumulada anual con datos de precipitación desde el año 2013 al año 2018 (Figura 10).

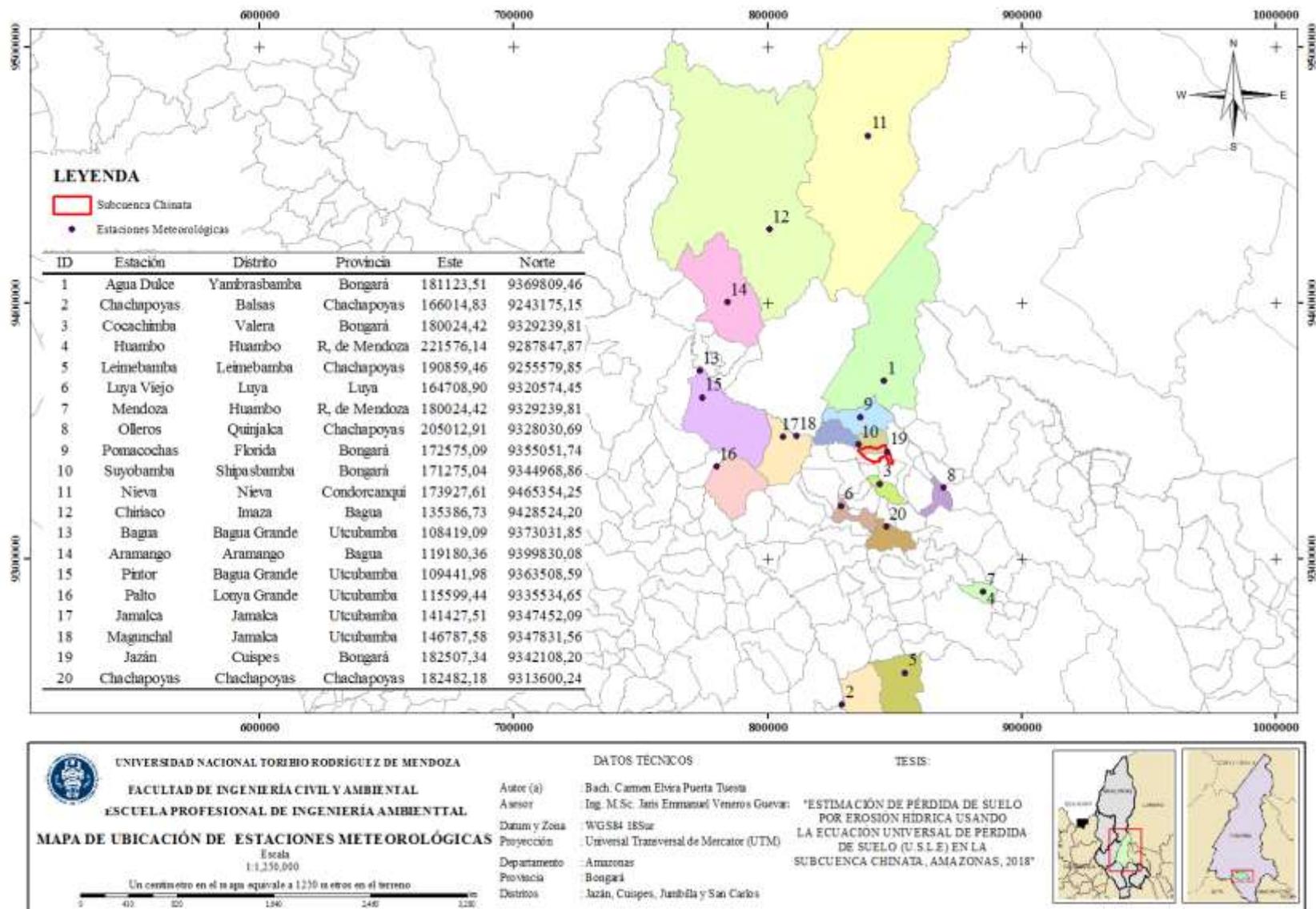


Figura 3. Ubicación de las estaciones meteorológicas del INDES-CES y del SENAMHI

Reconstrucción de datos de precipitación mediante el método de Mínimos Cuadrados

La limitante para determinar el factor de erosividad de la lluvia (R), fue la ausencia de datos de precipitación en algunas estaciones meteorológicas, por lo que se recurrió a la reconstrucción de datos faltantes a través del método de mínimos cuadrados, para ello se tomaron como base a las estaciones meteorológicas que si contaban con datos completos.

El método de mínimos cuadrados es un método analítico de ajuste, éste toma como base una superficie con valores medidos (calculados) de manera de minimizar la sumatoria de los errores al cuadrado. Matemáticamente, esta superficie es un polinomio en x e y; donde a mayor número de términos conocidos, será mejor el ajuste en los puntos (Díaz, 2015).

$$b = \frac{\sum xy - \frac{\sum x \sum y}{n}}{\sum x^2 - \frac{\sum x^2}{n}} \quad \text{Ecuación (4)}$$

$$a = \bar{y} - b\bar{x} \quad \text{Ecuación (5)}$$

Donde:

a: Valor desconocido

x: Valor conocido correspondiente a un mes cualquiera

y: Valor conocido correspondiente a un mes cualquiera.

Tabla 2. Reconstrucción de datos meteorológicos para la estación de Mendoza con los datos de la estación de Chachapoyas

Mes	Estación	Estación	X ²	XY
	Chachapoyas	Mendoza		
	X	Y		
	A	B		
Febrero	66,6	34,6	133,2	2304,36
Marzo	137,4	151,6	274,8	20829,84
Abril	71,2	23	142,4	1637,6
Mayo	39,8	2,8	79,6	111,44
Junio	10	53	20	530
Julio	12,2	22	24,4	268,4
Agosto	1,9	2,6	3,8	4,94
Septiembre	0,1	24,8	0,2	2,48
Diciembre	0	0,8	0	0
Enero	85,2	X1	170,4	
Octubre	3,8	X2	7,6	
Noviembre	28,6	X3	57,2	
	SX	SY	SX ²	SXY
	339,2	315,2	678,4	25689,06

Aplicando las ecuaciones 4 y 5 se determinó los valores desconocidos para:

$$X_1: 72,7$$

$$X_2: 8,2$$

$$X_3: 27,8$$

Con un $R=0,79$ coeficiente de correlación.

Podemos afirmar que el ajuste del modelo es bueno, ya que el valor de $R = 0,79$ es cercano a 1, en concreto, el 79 % de la variabilidad de la variable Y a su promedio es explicado por el modelo de regresión ajustado. Podemos concluir que el modelo lineal es adecuado para describir la relación que existe entre estas variables.

Del mismo modo se aplicó para todas las estaciones, lo que permitió determinar la precipitación acumulada anual que se puede observar en la Tabla 3.

Tabla 3. Precipitación acumulada anual de las estaciones meteorológicas del INDES-CES y SENAMHI

ID	Estación	Distrito	Provincia	Este	Norte	Precipitación Acumulada Anual
1	Agua Dulce	Yambrasbamba	Bongará	181123,51	9369809,46	1402,37
2	Chachapoyas	Balsas	Chachapoyas	166014,83	9243175,15	920,8
3	Cocachimba	Valera	Bongará	180024,42	9329239,81	962,28
4	Huambo	Huambo	R, de Mendoza	221576,14	9287847,87	911,53
5	Leimebamba	Leimebamba	Chachapoyas	190859,46	9255579,85	744,29
6	Luya Viejo	Luya	Luya	164708,90	9320574,45	265,55
7	Mendoza	Huambo	R, de Mendoza	180024,42	9329239,81	1018,7
8	Olleros	Quinjalca	Chachapoyas	205012,91	9328030,69	541,86
9	Pomacochas	Florida	Bongará	172575,09	9355051,74	1091,19
10	Suyobamba	Shipasbamba	Bongará	171275,04	9344968,86	693,09
11	Nieva	Nieva	Condorcanqui	173927,61	9465354,25	2701,97
12	Chiriaco	Imaza	Bagua	135386,73	9428524,20	2141,07
13	Bagua	Bagua Grande	Utcubamba	108419,09	9373031,85	400,37
14	Aramango	Aramango	Bagua	119180,36	9399830,08	1762,64
15	Pintor	Bagua Grande	Utcubamba	109441,98	9363508,59	604,87
16	Palto	Lonya Grande	Utcubamba	115599,44	9335534,65	1636,82
17	Jamalca	Jamalca	Utcubamba	141427,51	9347452,09	875,37
18	Magunchal	Jamalca	Utcubamba	146787,58	9347831,56	662,2
19	Jazán	Cuispes	Bongará	182507,34	9342108,20	1075,53
20	Chachapoyas	Chachapoyas	Chachapoyas	182482,18	9313600,24	885,35

Obtención del Factor R

Con los valores de precipitación acumulada anual obtenidos, se aplicó la Ecuación 3, obteniendo los valores de R que se observa en la Tabla 4 y Figura 11.

Tabla 4. Valores del Factor R

ID	Estación Meteorológica	Precipitación Acumulada Anual	R en (MJ mm) (ha hr) ⁻¹
1	Agua Dulce	1402,37	13052,89
2	Chachapoyas	920,8	5616,92
3	Cocachimba	962,28	6135,83
4	Huambo	911,53	5504,03
5	Leymebamba	744,29	3665,12
6	Luya Viejo	265,55	460,84
7	Mendoza	1018,7	6878,42
8	Olleros	541,86	1937,68
9	Pomacochas	1091,19	7894,79
10	Suyobamba	693,09	3176,65
11	Nieva	2701,96	48539,20
12	Chiriaco	2141,07	30463,66
13	Bagua	400,37	1054,35
14	Aramango	1762,64	20636,10
15	Pintor	604,87	2416,86
16	Palto	1636,82	17791,28
17	Jamalca	875,37	5074,86
18	Magunchal	662,20	2898,78
19	Jazán	1075,52	7669,24
20	Chachapoyas	885,35	5191,61

Interpolación

La interpolación predice valores para las celdas de un ráster a partir de una cantidad limitada de puntos de datos de muestra. Puede utilizarse para prever valores desconocidos de cualquier dato de un punto geográfico, (ESRI, 2018).

En la Figura 3, se puede observar que las estaciones meteorológicas con los datos de la precipitación se encuentran fuera del área de la Subcuenca Chinata, por lo que se realizó una interpolación para predecir los valores del Factor R para el área de estudio.

Para esta operación, los datos de entrada fue el conjunto de datos de precipitación acumulada anual de las estaciones meteorológicas del INDES-CES y SENAMHI.

Se utilizó la herramienta Spline, un método de interpolación que estima valores usando una función matemática que minimiza la curvatura general de la superficie, lo que resulta en una superficie suave que pasa exactamente por los puntos de entrada.

$$S(x, y) = T(x, y) + \sum_{j=1}^N \lambda_j R_{rj} \quad \text{Ecuación (6)}$$

Donde:

j: 1, 2, ..., N

N: Es la cantidad de puntos

λ_j : Son coeficientes determinados por la solución de un sistema de ecuaciones lineales

r_j : Es la distancia del punto (x, y) al punto j

T(x, y) y R(r) se definen de forma diferente, según la opción seleccionada. De este modo se generó el mapa de Erosividad en (MJ mm) (ha h)⁻¹ (Figura 10).

2.6.2 Metodología para determinar el Factor de Erodabilidad (K)

Colotti (1999), manifiesta que el factor K representa la Erodabilidad del suelo, es decir, muestra su vulnerabilidad a la acción del agua; es una característica inherente a los suelos, que es función de la acción individual y/o combinada de sus propiedades físicas, químicas y biológicas, así como también del manejo que de ellos se haga.

Kirkby y Morgan 1980 (Citado por Lianes *et al.*, 2009) desarrollaron una metodología que permitió valorar el factor K de acuerdo a la asociación de la clase textural del suelo y su contenido de materia orgánica. Para ello se realizó un análisis de clase textural y contenido de materia orgánica, partiendo del establecimiento de puntos de muestreo, análisis en laboratorio hasta la determinación del factor K.

Justificación de la selección de puntos para muestreo de suelo

- Primero se analizó la Guía para el Muestreo de Suelos del Ministerio del Ambiente, tratándose de un análisis de clase textural el tipo de muestreo que se eligió fue el de identificación (MINAM, 2014), el objetivo del muestreo de identificación es investigar la existencia de

contaminación del suelo a través de la obtención de muestras representativas con el fin de establecer si el suelo supera o no los Estándares de Calidad Ambiental y/o los valores de fondo de acuerdo a lo establecido en la Guía de muestreo de suelos del MINAM. En este aclara que el número mínimo de puntos de muestreo se determina en función de cada área de potencial interés dentro del predio de estudio y para áreas superiores a las 100 hectáreas se deberá determinar el número mínimo de puntos de muestreo con la siguiente ecuación:

$$N = 0,1X + 40 \quad \text{Ecuación (7)}$$

Donde:

N= Número mínimo de puntos de muestreo

X =Superficie en hectáreas

En este caso, el área de estudio consta de 5405,828 ha, por lo que aplicando esta metodología los puntos de muestreo resultantes serían:

$$N = 0,1(5405,828 \text{ ha}) + 40$$

$$N = 580,5$$

- Segundo, se analizó la Norma Mexicana NMX-AA-132-SCFI-2016 Muestreo de Suelos para la identificación y la cuantificación de metales y metaloides, y manejo de la muestra.

Para el muestreo exploratorio donde el objetivo es obtener las muestras de suelos representativos para establecer la presencia de contaminación, la distribución horizontal de la misma, y valorar su posible migración vertical establece el siguiente que en superficies mayores a 30 ha, el número mínimo de puntos de muestreo superficial se calcula aplicando la siguiente fórmula:

$$N = 11,71A^{0,3} \quad \text{Ecuación (8)}$$

Donde:

N: Número mínimo de puntos de muestreo

A: Superficie del suelo del área de estudio expresada en hectáreas

Por lo tanto aplicando esta metodología los puntos de muestreo resultantes serían:

$$N = 11,71(5405,828 \text{ Ha})^{0,3}$$

$$N = 154,31$$

En conclusión ambas metodologías determinaron un número alto de puntos de muestreo, que por limitación de recursos no pudieron aplicarse para este estudio.

Establecimiento de los puntos de muestreo

Se consideró tomar como indicador de la clase textural a las Zonas de Vida según GRA & IIAP (2010), ya que los tipos de vegetación guardan relación con el material parental (Flores & Briones, 2011).

La ZEE (2010) identificó tres zonas de vida dentro del área de la Subcuenca Chinata (Anexo 1), tales como: Bosque húmedo montano bajo tropical, Bosque seco montano bajo tropical y Bosque seco premontano tropical. Dentro de estas zonas de vida se fijaron los 25 puntos de muestreo de suelo (Anexo 5).

Técnica de muestreo

Se realizó un muestreo a juicio de experto, donde cada uno de los 25 puntos de muestreo de suelo establecidos estuvo conformado por 5 sub muestras.

• Toma de muestras

En cada punto de muestreo se procedió a limpiar la capa superficial y con la ayuda de una pala se hizo un corte vertical al suelo a una profundidad de 30 cm. La primera extracción de tierra se colocó a un lado, de la segunda palada se extrajo una muestra de tierra de un grosor de 3 cm y se colocó sobre un recipiente.

Posteriormente se juntaron las sub muestras y se realizó el cuarteo, del cual se extrajo 500 gr de muestra de suelo y se colocaron en bolsas debidamente codificadas para luego ser transportadas al laboratorio (Figura 19).

- **Manejo de la muestra:**

Las 25 muestras de suelo fueron ingresadas al Laboratorio de Aguas y Suelos (LABISAG) del Instituto de Investigación de Ceja de Selva (INDES-CES), ahí pasaron por un proceso de etiquetado, con datos de profundidad de la toma de muestra de suelo, el lugar de donde proviene y el código; para su fácil identificación.

- **Secado de la muestra:**

Las 25 muestras de suelo fueron vertidas en los recipientes de porcelana (platos) para ser colocados en la estufa a una temperatura de 40°C por 03 días.

- **Trituración y tamizado:**

Las 25 muestras de suelo secas, se trituraron en los molinos y en los morteros, luego se tamizaron y se envasaron para proceder con los análisis de clases texturales y contenido de materia orgánica.

Determinación de textura y contenido de materia orgánica del suelo

Para determinar la clase textural y el contenido de materia orgánica se encargó los servicios del Laboratorio de Suelos y Aguas (LABISAG) del INDES-CES el análisis de 25 muestras de suelo de la Subcuenca Chinata (Anexo 3).

Textura

Fuentes (2011) indican que para el estudio de la textura del suelo, se considera tres fases: sólida, líquida y gaseosa, La fase sólida constituye cerca del 50 % del volumen de la mayor parte de los suelos superficiales y consta de una mezcla de partículas inorgánicas y orgánicas cuyo tamaño y forma varían considerablemente.

Las partículas o agrupaciones de partículas son de tamaños similares por lo que su clasificación es en base a los límites de diámetro en milímetros.

El sistema de clasificación del Departamento de Agricultura de los Estados Unidos (USDA) considera 12 clases texturales. Estas se pueden caracterizar gráficamente en el triángulo textural, en este, se entregan los porcentajes de arena, limo y arcilla en un gráfico de tres ejes.

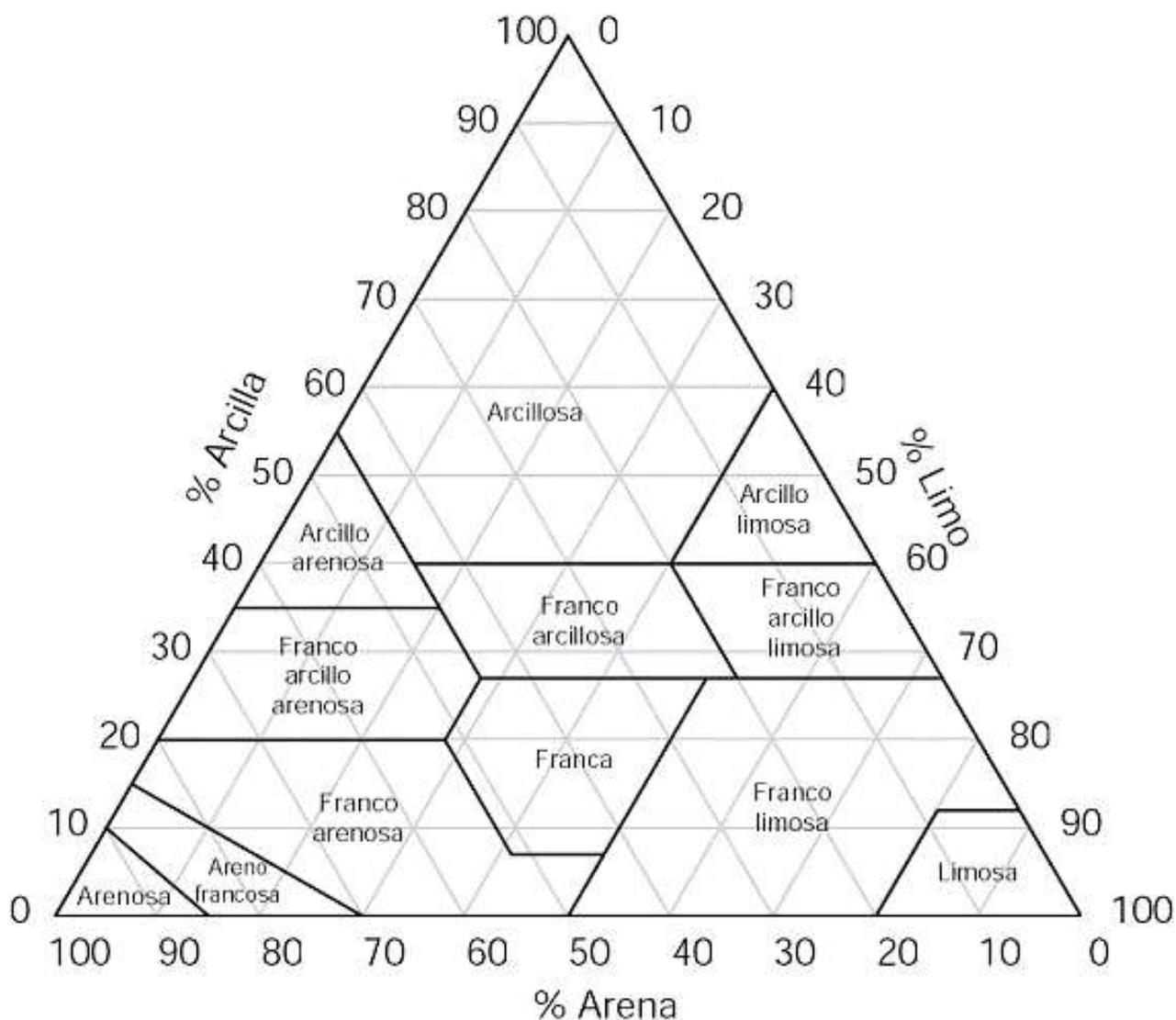


Figura 4. Triángulo de clase textural

Fuente: USDA (1999).

Tabla 5. Descripción de las clases texturales

Clase Textural	Características
Arenosa (a)	La arena es suelta, de grano simple, Pueden sentirse y a veces mirarse los granos, se siente áspero y sonoro,
Arenoso franco (aF)	Arena con arcilla y limo, Los granos de arena se ven y se sienten,
Franco arenoso (Fa)	El limo y arcilla aumentan y hay mayor cohesión que la anterior clase, Si se logra formar una bolita, se rompe rápidamente,
Franco (F)	Tiene proporciones adecuadas de arena, limo y arcilla, En húmedo se puede fabricar el “lulo”, “cinta” y “bolita”,
Franco limoso (FL)	Presenta una mayor adhesividad y plasticidad, Se pueden formar las tres figuras pero se rompen a la presión suave de los dedos,
Limoso (L)	Muy suave al tacto y no se adhiere a los dedos, En húmedo parece un jabón y en seco talco,
Franco arcillo arenoso (FAa)	Tiene una mayor consistencia, se siente áspero y se adhiere moderadamente a los dedos,
Franco arcillo limoso (FaL)	Similar a la anterior, pero más suave y no se adhiere a los dedos,
Franco arcilloso (FA):	Se pueden hacer todas las figuras, pero aún se rompen a la presión moderada, Es adhesiva y plástica, Común en suelos bien desarrollados,
Arcillo arenoso (Aa)	Se pueden hacer todas las figuras las que se moldean fácilmente, es plástica y adhesiva sintiéndose los gránulos de arena, que la hace más áspera,
Arcillo limoso (AL)	Es idéntica a la clase textural anterior a excepción de que ésta es más suave al tacto y se adhiere poco a los dedos,
Arcillosa (A):	Es plástica, adhesiva y permite efectuar toda clase de figuras,

Fuente: USDA (1999).

Método de Bouyoucos para determinar la clase textural

Para determinar la clase textural de las 25 muestras de suelo de la Subcuenca Chinata, se utilizó el método de Bouyoucos que consiste en medir la densidad de suspensión con un hidrómetro, en diferentes tiempos, de acuerdo con la velocidad de caída de las partículas, la que está en relación a su diámetro (Sanchez, 2014).

Procedimiento:

- En un vaso de precipitados, se colocó 50 g de muestra de suelo de la Subcuenca Chinata.
- Se adicionó 15 ml de la solución de Hexametáfosfato de sodio al 10% a los 50 gr de muestra.
- Se añadió agua destilada hasta las $\frac{3}{4}$ partes del vaso.
- Se agitó por 5 minutos para suelos de textura gruesa y 10 minutos para suelos con textura muy fina.
- Una vez agitado se trasvasó el contenido del vaso a la probeta de 1 litro, y se aforó con agua destilada.
- Se agitó el contenido de la probeta, cuando se terminó de agitar se sumergió el hidrómetro y el termómetro en la solución y se contó 40 segundos.
- Se tomó la primera lectura al finalizar los 40 segundos.
- Se dejó reposar la solución por 2 horas y se volvió a tomar la lectura del hidrómetro y la temperatura, esta vez sin agitar la solución.

Las clases texturales para la subcuenca se expresa en la Figura 11.

Materia Orgánica

Método de Walkley Black para determinar materia orgánica

Se determinó la materia orgánica de las 25 muestras de suelo de la Subcuenca Chinata a través del método de Walkley-Black, este método consiste en la combustión húmeda de la materia orgánica mediante dicromato de potasio; la materia oxidable es oxidada por $\text{Cr}_2\text{O}_7=2$, y el dicromato residual es determinada por titulación con una solución de $\text{Fe}(\text{NH}_4)_2(\text{SO}_4)_2$ 0,5 N. Este método es un proceso de óxido reducción (Bazán, 2017).

El contenido de materia orgánica para la subcuenca se expresa en la Figura 12.

Procedimiento:

- Se pesó 0,5 g de la muestra de suelo de la Subcuenca Chinata, se colocó en un matraz Erlenmeyer de 250 ml y con la macropipeta se añadió 10 ml de Dicromato de potasio 1N.
- En la cámara de bioseguridad se adicionó al matraz 10 ml de ácido sulfúrico y se agitó manualmente por 1 minuto.
- Si la muestra toma un color verde intenso se debe adicionar 10 ml más de Dicromato de potasio 1N y dejamos reposar las muestras en la cámara de bioseguridad por 1 hora.
- Pasada 1 hora, se agregó agua destilada hasta los 100 ml y se dejó reposar por 24 horas.
- Con la macropipeta se extrajo 10 ml de la muestra, se colocó en un vaso de precipitado de 25 ml y se añadió 3 gotas de Sulfato ferroso amoniacal.
- Seguidamente se tituló con Sulfato ferroso 0,5N, el cambio de color indica la cantidad límite para finalizar la titulación y se anotó el gasto o cantidad de con Sulfato ferroso 0,5N utilizado.

Obtención del Factor K

Con los resultados del análisis de Laboratorio de Aguas y Suelos (Anexo 3) Se comparó la Tabla 6 que propone el método de Kirkby & Morgan (1980), en este se utilizan valores obtenidos asociando la clase textural del suelo con el contenido de materia orgánica y se tabuló para obtener los valores de K (Tabla 8).

Tabla 6. Valores de K Asociados a la textura y al contenido de materias orgánica, método de Kirkby y Morgan

Textura del Suelo	Contenido de materia orgánica		
	<0,5%	2%	>4%
Arcilla	0,017	0,038	-----
Arcilla arenosa	0,018	0,017	0,016
Arcilla limosa	0,033	0,030	0,025
Arena	0,007	0,004	0,003
Arena fina	0,0021	0,018	0,013
Arena fina franca	0,032	0,026	0,021
Arena franca	0,016	0,013	0,011
Arena muy fina	0,055	0,047	0,037
Arena muy fina franca	0,058	0,050	0,040
Franco (grada)	0,050	0,045	0,038
Franco arcillolimoso	0,049	0,042	0,034
Franco arcillosos	0,037	0,033	0,028

Fuente: Lianes *et al.* (2009)

2.6.3 Metodología para determinar el factor LS

El Factor Topográfico LS es la relación entre el suelo perdido en un terreno cualquiera con pendiente P y longitud λ , y la correspondiente a la parcela piloto utilizada en el desarrollo de la USLE. Se refiere entonces al efecto combinado de la pendiente y la longitud de los terrenos expuestos a la erosión laminar y en surcos. Su valor se obtiene por multiplicación de dos sub factores: longitud (L) y pendiente (S) (Cepeda, 2015).

En este estudio, el Factor LS se calculó utilizando la herramienta raster calculator del programa ArcGIS. Se obtuvo valores de la pendiente en grados y la acumulación del flujo a partir del Modelo Digital de Elevación (DEM) obtenido del satélite ASTER de resolución espacial de 30m.

Se denomina DEM al conjunto de capas (generalmente ráster) que representan distintas características de la superficie terrestre derivadas de una capa de elevaciones a la que se denomina Modelo Digital de Elevaciones (MDE) (Martínez, 2008). Un Modelo Digital de Elevación (MED) representa de manera visual y matemática los valores de altura tomando como referencia el nivel del mar, lo que nos permite analizar las formas de relieve (INEGI, 2011).

Estos dos parámetros, pendiente en grados y la acumulación del flujo nos permiten calcular el factor LS, utilizando la siguiente ecuación:

$$LS = \left(\frac{FA * \text{tamaño de celda}}{22,13} \right) * \left(\frac{\sin(\text{ángulo de la pendiente}) / 0,01745}{0,09} \right)$$

Ecuación (9)

Donde FA es la acumulación de flujo, el tamaño de celda es el tamaño de los datos de DEM (30m x 30m), el ángulo de pendiente es en grados ($^{\circ}$), 0,01745 es el parámetro para convertir los grados en radianes.

2.6.4 Metodología para determinar el factor C

El factor C de cobertura y manejo de cultivos y residuos, es un factor adimensional, que proporciona la pérdida de suelo en una superficie

con cubierta y manejo específico con respecto a una superficie idéntica en barbecho, con labranza continua. Este factor indica el efecto de la cubierta vegetal en la pérdida de suelo, se expresa como la relación entre la pérdida de suelo de un área o parcela con una vegetación dada y sistemas de manejo específicos (Castillo & Estrada, 2016).

Los valores de C son pequeños cuando el suelo está protegido del impacto del agua de lluvia y de la acción de la escorrentía superficial, y viceversa; es decir, a mayor valor de C, menor es la cobertura del suelo, es decir, hay menor protección (Cepeda, 2015).

Para determinar el factor c se utilizó la técnica de clasificación supervisada la que a través de procesamiento de imágenes satelitales permite identificar materiales en una imagen a partir de sus firmas espectrales.

Corrección de la imagen satelital

Para determinar los tipos de cobertura en la Subcuenca Chinta se utilizó una imagen del Satélite Landsat 8 con fecha 31 de octubre del 2017. A esta imagen se le realizó la calibraron atmosférica y radiométrica de todas las bandas espectrales por separado, a través de la Clasificación Semiautomática Plugin (SCP), un complemento incorporado en (QGis), con los valores de radiancia espectral especificados en los respectivos metadatos.

Para construir las imágenes multiespectrales, se realizó la combinación de las bandas; sobre las que se establecieron 46 Puntos de Control Terrestre (GCP) fotoidentificables en la Subcuenca Chinata. Estos se verificaron con salidas al campo y cartografía local.

Para construir la imagen espectral a color natural (Figura 5), se realizó una combinación de las bandas 4,3,2 (Franco, 2017).

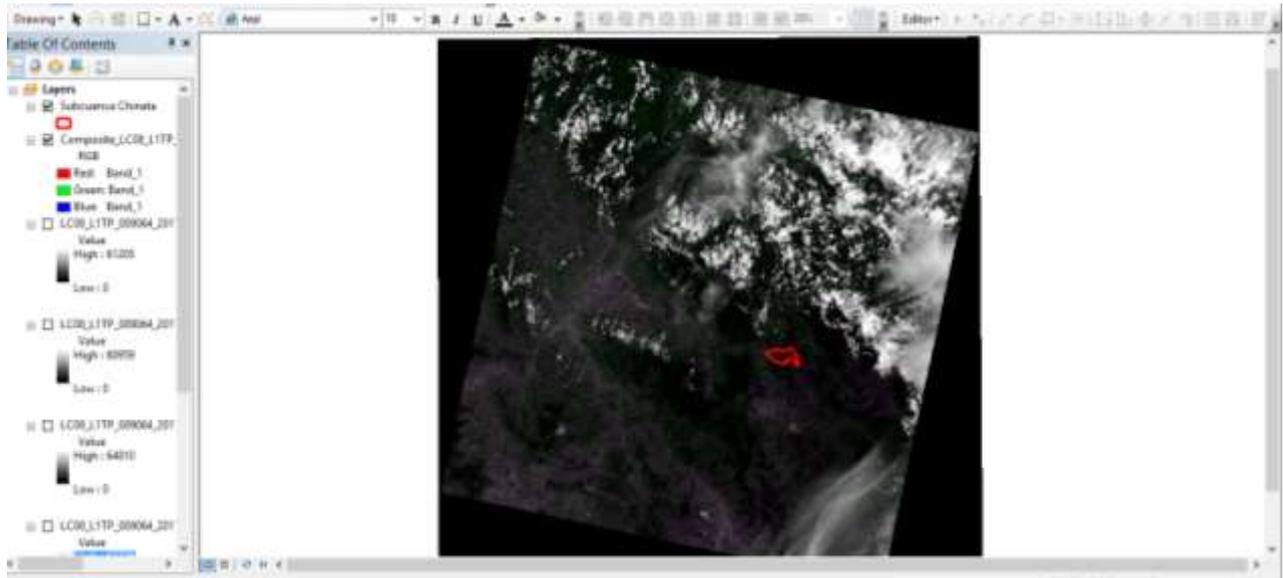


Figura 5. Combinación de las bandas 4, 3,2 de la imagen satelital en ArcMap

Clasificación de Cobertura y Uso de Suelo (CUS)

Se realizó una clasificación supervisada de máxima probabilidad, lográndose identificar 04 clases de cobertura predominantes:

Páramo: En este tipo de cobertura se encuentran los pajonales, estos ocupan parte de la cabecera de la Subcuenca y también partes de la cuenca baja.



Figura 6. Cobertura de Páramo en la parte alta de la Subcuenca Chinata

Bosque: Lo conforman especies arbóreas y está situado en la parte alta de la Subcuenca Chinata.



Figura 7. Cobertura de Bosque en la parte alta de la Subcuenca Chinata

Cultivos: La cobertura vegetal es ligera, están distribuidos en zonas de pendiente baja pero también en zonas con pendiente mediana. El estrato herbáceo está constituido de cultivos agrícolas como el maíz, el frijol, la yuca, la caña de azúcar y pasto.



Figura 8. Cultivos en la parte media de la Subcuenca Chinata

Suelo desnudo: Se consideró como suelo desnudo a las áreas sin cobertura vegetal, tales como: vías, canteras y tierras en abandono.



Figura 9. Área sin cobertura vegetal

Determinación del Factor C

El factor C fue asignado de acuerdo a los tipos de cobertura identificados en la clasificación supervisada (Figura 15) utilizando una tabla con valores de C existentes en diversos estudios.

Tabla 7. Valores del Factor C

Tipo de cobertura	Factor C	Autor
Páramo	0,003	Saborío (2002)
Bosque	0,0001	Mora (1987)
Cultivo	0,002	Saborío (2002)
Suelo desnudo	1	Gómez (2002)

Fuente: Lianes *et al.* (2009).

2.7 Análisis de datos

Se determinó el valor de cada uno de los Factores de manera directa y con el uso del programa ArcGIS 10,5; generando archivos en formato ráster. Así mismo se realizó la multiplicación de estos archivos a través de la herramienta algebra de mapas para determinar la cantidad de pérdida de suelo y la elaboración del mapa de susceptibilidad de erosión hídrica.

III. RESULTADOS

5.1 Determinación de los factores de la Ecuación Universal de la Pérdida de Suelo (USLE)

5.1.1 Determinación del Factor de Erosividad de la precipitación (R)

5.1.1.1 Determinación de la Precipitación Acumulada Anual

Se determinó la precipitación acumulada anual para la Subcuenca Chinata (Figura 10). La precipitación mínima es igual a 714,713 mm/año y corresponde al color celeste del mapa, Por el contrario, la precipitación máxima es igual a 1075,53 mm/año y corresponde al color azul del mapa de precipitación.

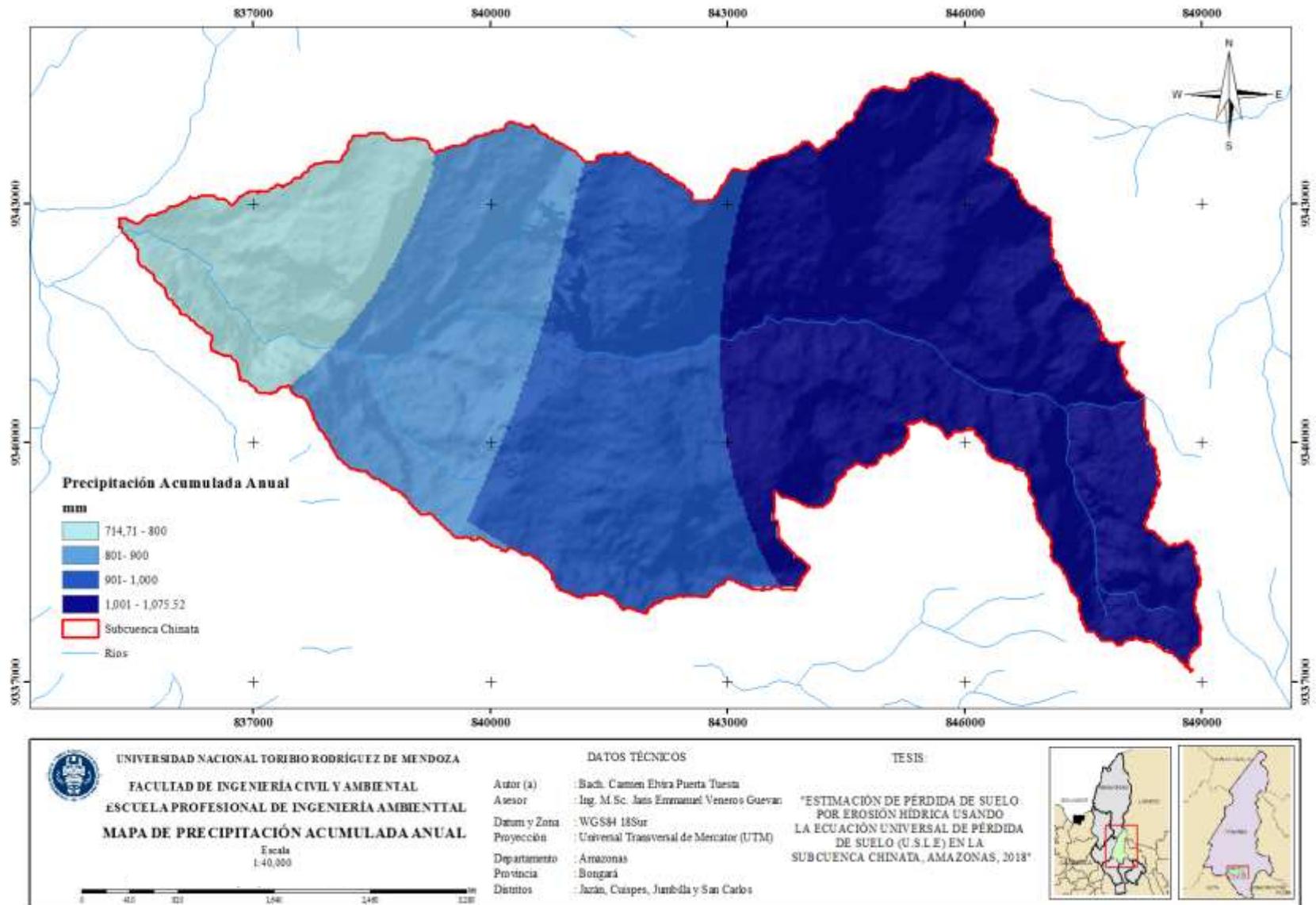


Figura 10. Precipitación Acumulada Anual en la Subcuenca Chinata, Amazonas

5.1.1.2 Determinación del valor del Factor Erosividad de la precipitación (R)

Se determinó el factor de erosividad de la precipitación (R) en la Subcuenca Chinata (Figura 11). Donde el valor mínimo para el Factor de Erosividad de Precipitación fue 3465,7 MJ,mm,ha⁻¹,año⁻¹ (color celeste) y el máximo valor fue 7669,24 MJ,mm,ha⁻¹,año⁻¹ (color rojo). De otra manera el Factor de Erosividad de Precipitación aumenta de Oeste (parte más baja de la Subcuenca) a Este (parte más alta de la Subcuenca) en la Subcuenca Chinata, debido a que se observa la siguiente relación: a mayor altitud, mayor precipitación según la Figura 10.

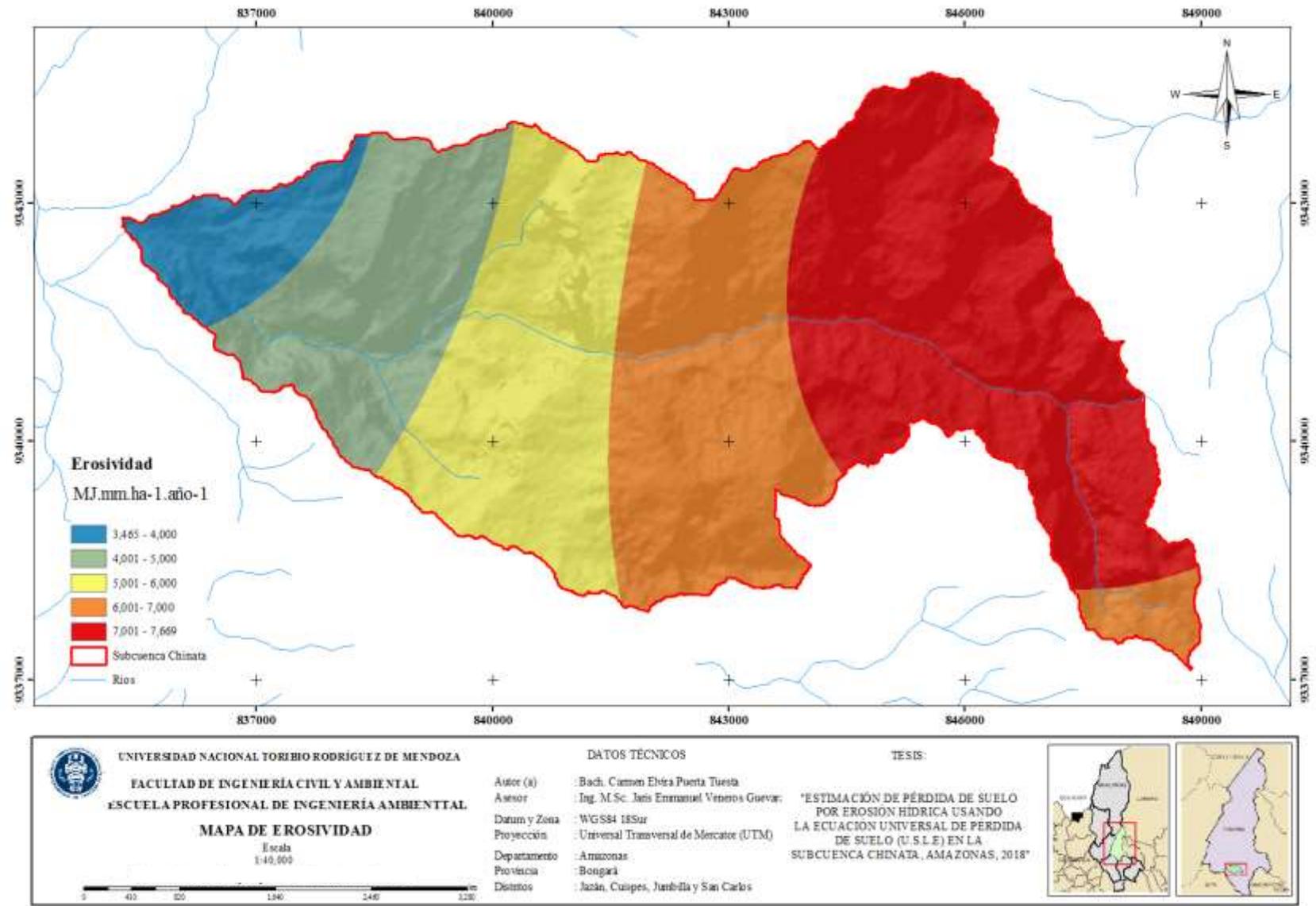


Figura 11. Factor de Erosividad en la Subcuenca Chinata, Amazonas

5.1.2 Determinación del Factor de Erodabilidad (K)

5.1.2.1 Determinación de las Clases Texturales y el Contenido de Materia Orgánica,

En la Subcuenca Chinata se determinaron 05 clases texturales de suelo: Arena Franca (A,Fr,), Franco Arenoso (Fr,A,), Franco Arcillo Arenoso (Fr,Ar,A,) y Arena (Ar,). Estas 05 clases texturales están asociados a porcentajes de materia orgánica que va desde el 1,5% al 7,66% (Figura 12; Figura 13 y Tabla 8).

Las clases texturales que se presenta en mayor cantidad es la Arena Franca (A,Fr) y está situada en la parte baja y media de la Subcuenca Chinata, según la Figura 12. Por el contrario, el tipo de textura Franco Arcilloso (Fr,Ar) está presente en menor cantidad tanto en la parte baja, media y alta de la Subcuenca Chinata. La Clase Textural Franco Arenoso (Fr,A) se encuentra distribuida en gran proporción en la parte baja y la parte alta de la Subcuenca, como se observa en la Figura 12.

En cuanto al Contenido de Materia Orgánica (Figura 13), la parte alta de la Subcuenca Chinata presenta grandes áreas con un Contenido de Materia Orgánica superior al 5,51% y están representados por el color verde oscuro; sin embargo los valores mínimos 1,17 y 3,33% se sitúan en la parte baja y media de la Subcuenca Chinata, según el mapa de la Figura 13.

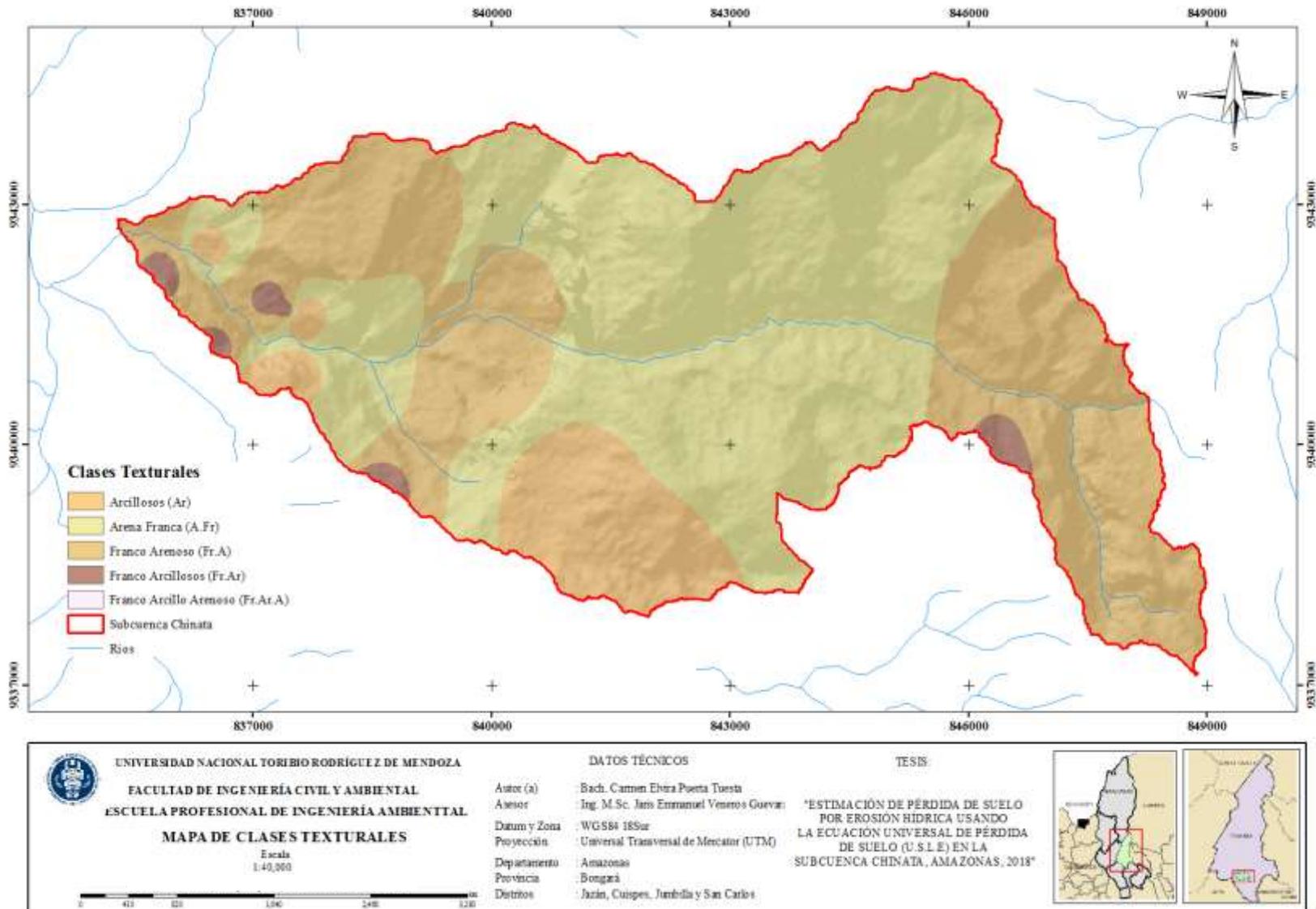


Figura 12. Clases texturales en la Subcuenca Chinata, Amazonas

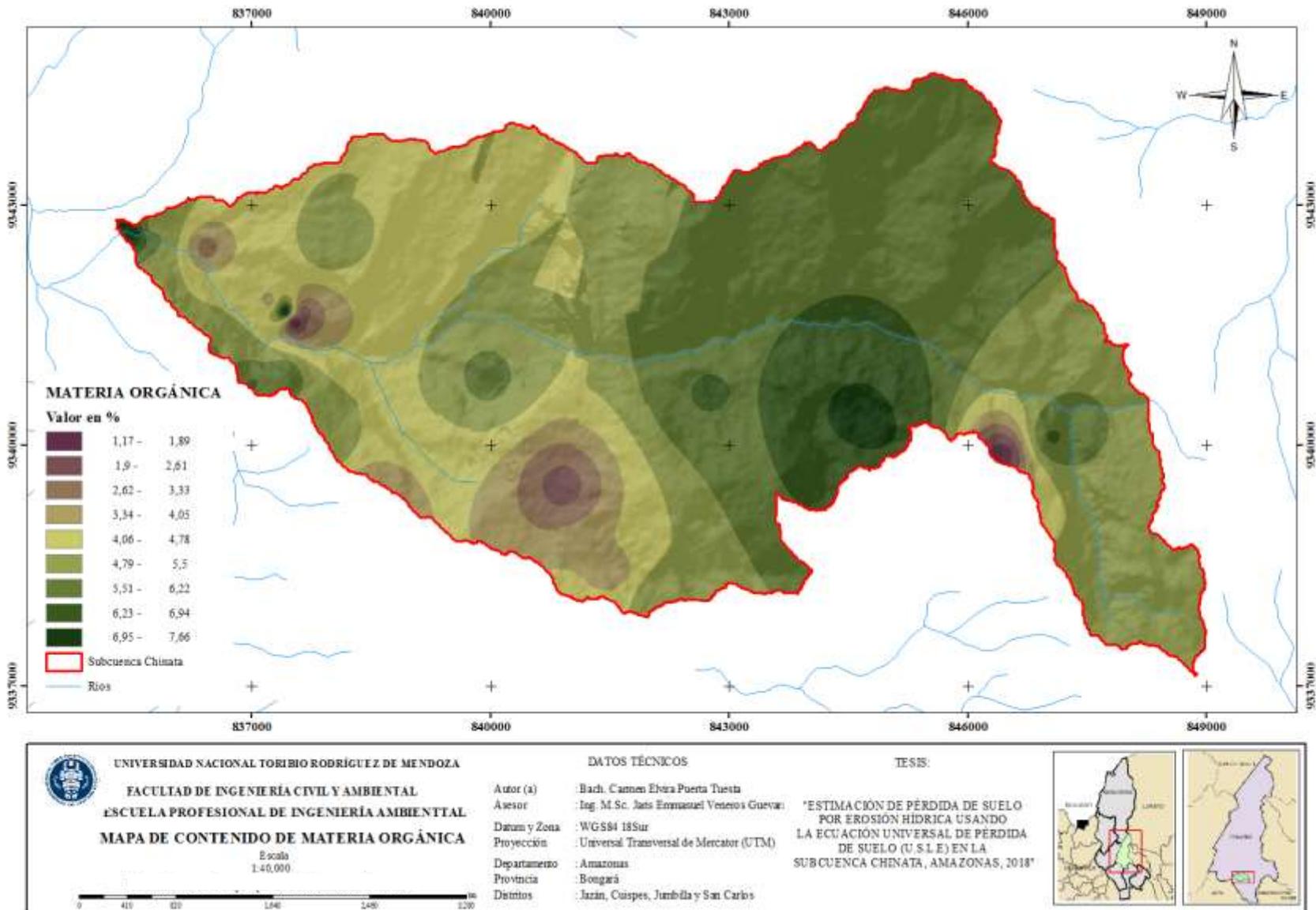


Figura 13. Contenido de Materia Orgánica en la Subcuenca Chinata, Amazonas

5.1.2.2 Determinación del valor del Factor (K)

El Factor de Erodabilidad (K) en relación con la textura de los horizontes superficiales (30 cm) y el contenido de materia orgánica según Kirkby & Morgan (1980) se presenta en la siguiente tabla:

Tabla 8. Valores para el Factor de Erodabilidad (K) asociados a la Textura y Materia Orgánica para la Subcuenca Chinata

ID	Este	Norte	Textura	% M,O	K
1	182707,75	9340267,42	Fr.A.	6,28	0,025
2	180521,65	9340330,83	Fr.A.	6,9	0,025
3	182067,88	9340035,20	Fr.Ar.A.	1,53	0,033
4	180520,19	9340333,48	Fr.A.	7,09	0,025
5	178357,00	9340752,02	Fr.A.	6,28	0,025
6	180260,66	9340458,75	A.Fr.	7,47	0,011
7	179861,20	9339796,53	Fr.A.	6,28	0,025
8	173035,57	9340938,29	Ar.	6,21	0
9	173280,00	9341736,67	Ar.	2,3	0,038
10	173163,50	9341594,92	Ar.	1,15	0,038
11	173566,85	9342521,88	Fr.Ar.	5,36	0,028
12	173640,86	9340075,05	A.Fr.	5,13	0,011
13	175588,04	9340929,64	Fr.Ar.	5,75	0,028
14	174235,42	9339625,13	Fr.Ar.A.	3,45	0,033
15	176558,97	9339591,16	Ar.	2,3	0,038
16	177197,92	9338531,85	Ar.	3,83	0,038
17	177775,21	9338189,35	Ar.	5,36	0
18	171365,91	9342783,41	Fr.Ar.	5,36	0,028
19	172041,00	9342511,41	Ar.	3,06	0,038
20	171089,22	9342649,76	Fr.A.	7,66	0,025
21	173041,96	9341732,52	Fr.Ar.A.	7,66	0,028
22	172839,10	9341866,15	Fr.Ar.A.	3,83	0,033
23	171444,19	9342198,38	Fr.Ar.A.	4,98	0,028
24	172634,33	9340822,79	Ar.	6,28	0
25	172145,13	9341218,21	Fr.Ar.A.	5,52	0,028

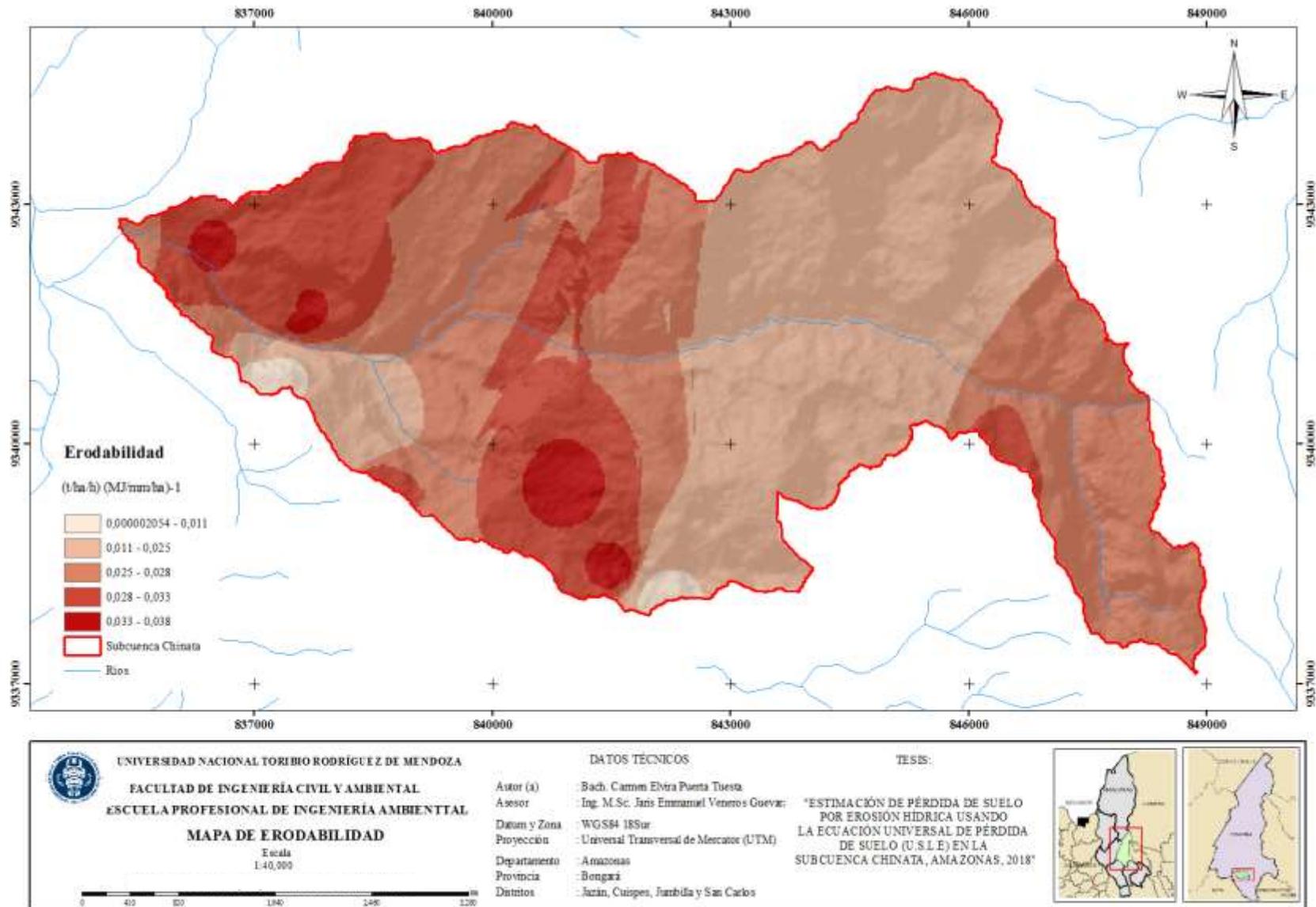


Figura 14. Factor de Erodabilidad del suelo de la Subcuenca Chinata

El Factor K varía desde un valor de 0,011 (t/ha/h) (MJ/mm/ha)⁻¹ para una textura de Arena Franca hasta un valor de 0,038 (t/ha/h) (MJ/mm/ha)⁻¹ para una textura de Arena en la Subcuenca Chinata según la Figura 14.

El valor máximo de Erodabilidad está representado por el color marrón oscuro en la Figura 14 y se ubica en la parte media y la parte baja de la Subcuenca Chinata; de otro modo el valor mínimo del Factor de Erodabilidad está representado por el color crema y se sitúa en la parte alta de la Subcuenca.

5.1.3 Determinación del Factor Topográfico (LS)

El resultado de la Ecuación 9 determinó que la Subcuenca Chinata tiene áreas con pendientes que varían desde 0 a más de 20%. El 88 % del área de la Subcuenca tiene una pendiente que varía de 1 a 10 % (Color celeste). En cambio el 0,63% del Área de la Subcuenca presenta una pendiente superior a 20 % (Color rojo) (Tabla 9 y Figura 15).

Tabla 9. Factor Topográfico (LS) en la Subcuenca Chinata

Factor LS	Área (ha)	Área (%)
0 a 1	325,05	6,01
1 a 10	4759,28	88,07
10 a 20	285,55	5,28
Mayor a 20	34,16	0,63
Total	5404,03	100

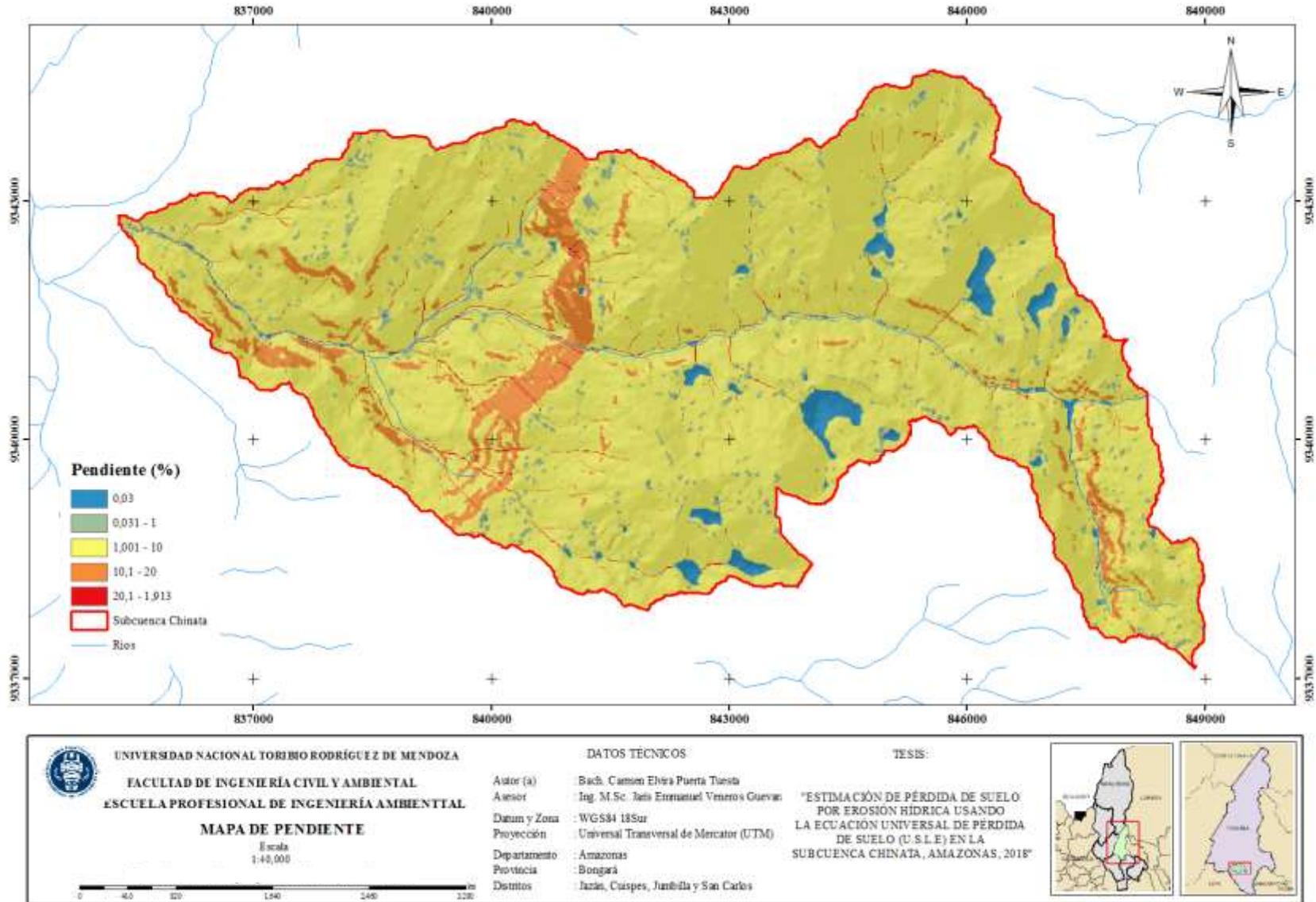


Figura 15. Factor Topográfico para la Subcuenca Chinata

5.1.4 Determinación de Factor de Cobertura (C)

En la Subcuenca Chinata se identificaron 4 tipos de cobertura, tales como: Páramo, Bosque, Cultivos y Suelo desnudo con valores para el Factor C de 0,003, 0,0001, 0,002, y 1 respectivamente.

El Factor C con valor igual a 1 está representado por el color rojo, en esta área se encuentra suelo desnudo, vías y área urbana; ésta se encuentra en la parte baja de la Subcuenca. El Factor C con valor 0,002 corresponde a áreas con cultivos y pasto, y representa el 26,7% del área de la Subcuenca Chinata. El Factor C con valor 0,001 que comprende áreas de bosque es el que abarca el 44% de a Subcuenca y se encuentra en la parte alta de la Subcuenca como se ve en la Figura 15 y Tabla 10.

Tabla 10. Factor C en la Subcuenca Chinata

Factor C	Área (Ha)	Área (%)
0,003	1264,53	23,41
0,0001	2386,60	44,18
0,002	1440,39	26,66
1	310,48	5,75
Total	5404,00	100,00

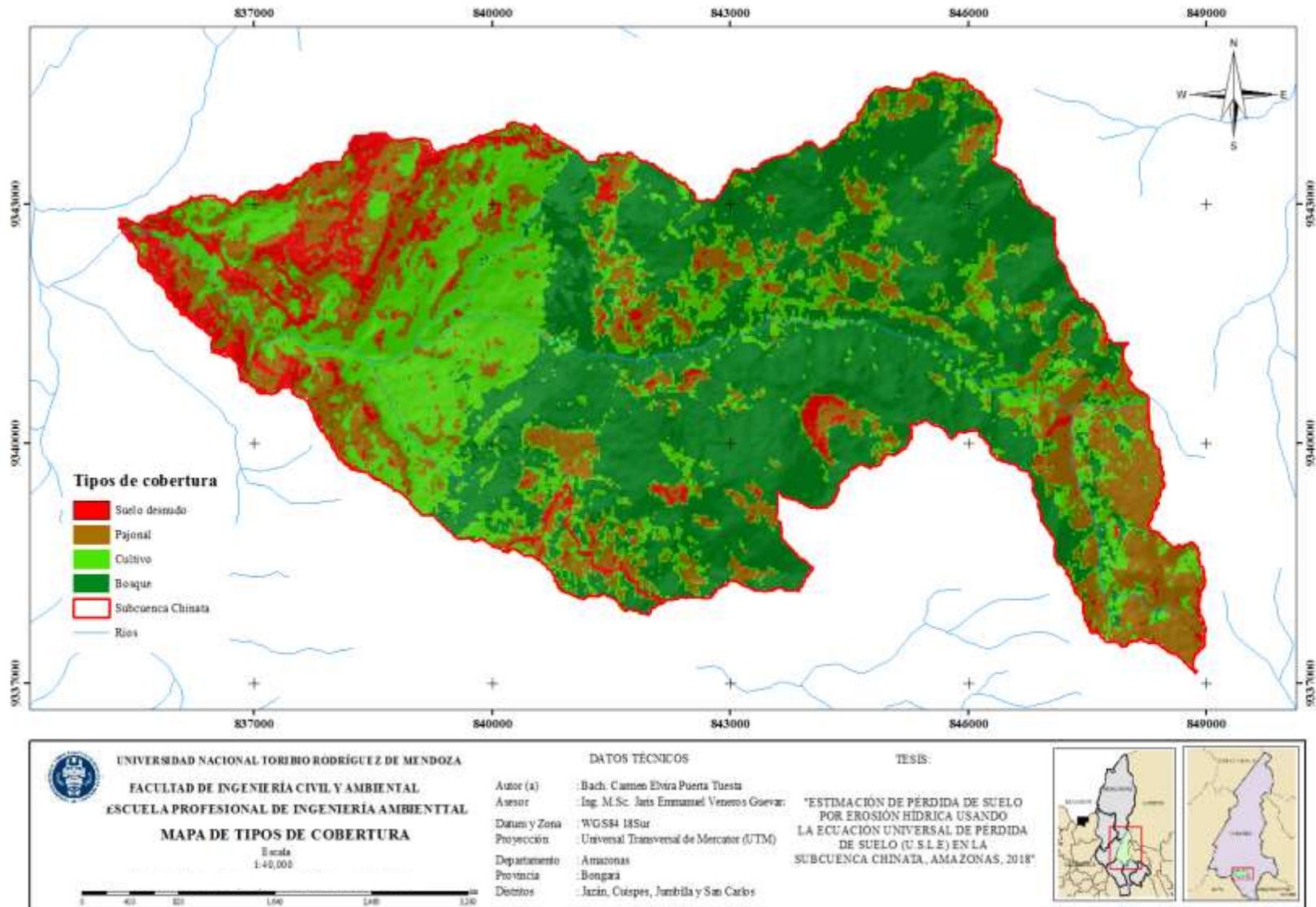


Figura 16. Factor Tipos de Cobertura para la Subcuenca Chinata
 41

5.1.5 Determinación del Factor de Prácticas de Conservación (P)

Se asumió un valor de 1,0 para el Factor P, ya que en la zona de estudio no se aplican prácticas de conservación.

5.2 Estimación del Volumen de Suelo Perdido por Erosión Hídrica,

Se determinó a través de la Ecuación 1. De otra manera, se observa que la erosión en la Subcuenca Chinata va desde 0 hasta 8,891 t/ha⁻¹/año⁻¹ (Figura 17) y según la clasificación de Pérez (2001) los niveles varían desde ligera hasta muy alta en relación a la cantidad de suelo que se pierde. El nivel de Erosión Hídrica Ligera, está representado por el color verde claro en la Figura 17; en este nivel se pierden entre 0 y 10 t/ha⁻¹,año⁻¹, En el nivel de Erosión Hídrica Baja (Color rojo) se pierden de 11 a 25 t/ha⁻¹,año⁻¹, En el nivel de Erosión Hídrica Moderada (Color naranja) la cantidad de pérdida suelo varía de 26 a 50 t/ha⁻¹,año⁻¹, En el nivel de Erosión Hídrica Alta (Color marrón) la cantidad de pérdida suelo varía de 51 a 100 t/ha⁻¹,año⁻¹ y en el nivel de Erosión Hídrica Muy Alta (Color rojo) las pérdidas de suelo superan las 100 t/ha⁻¹,año⁻¹.

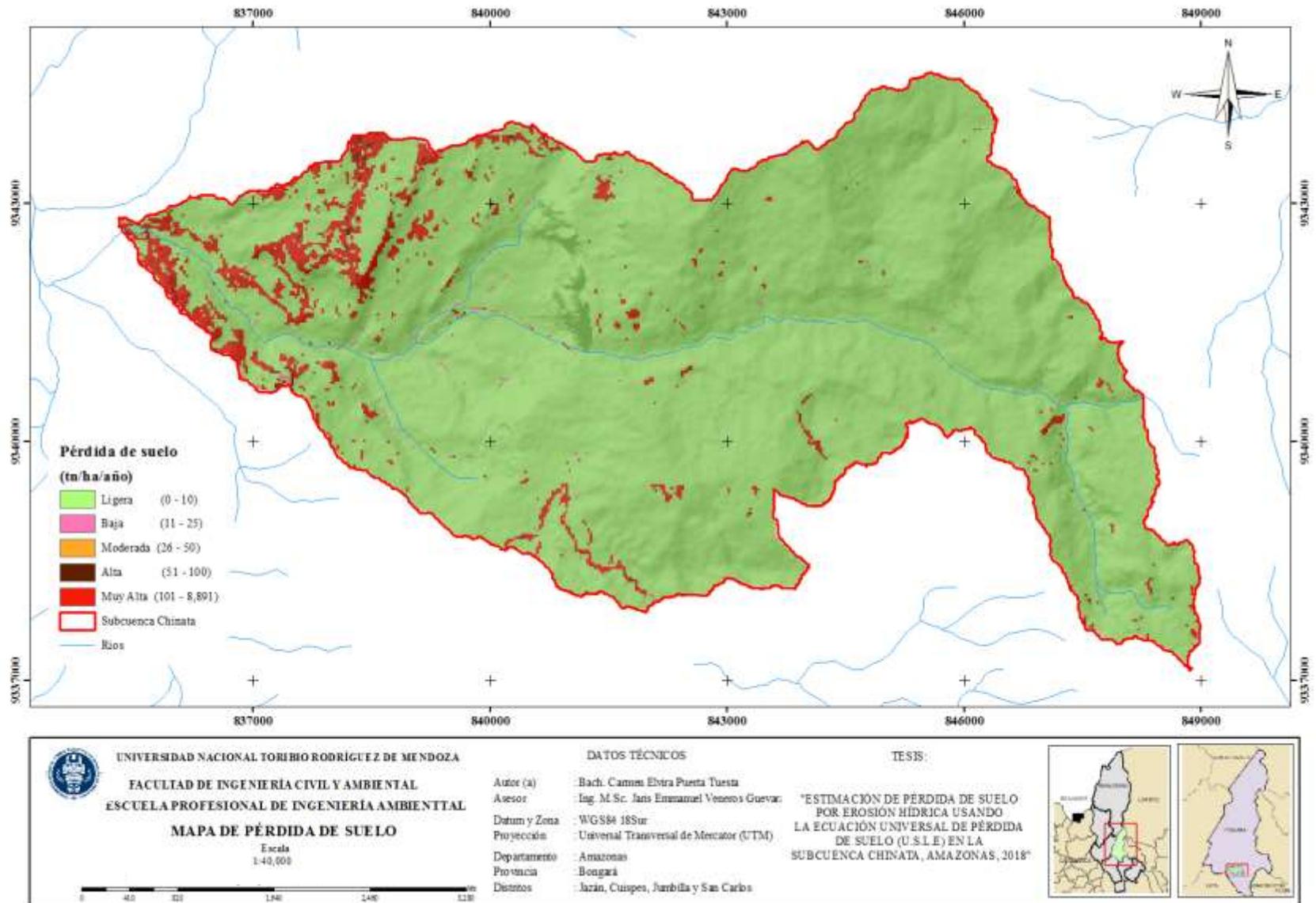


Figura 17. Pérdida de suelo por Erosión Hídrica en la Subcuenca Chinata

Los resultados indican, que a lo largo de la Subcuenca el área con erosión de nivel Ligera y con una pérdida de suelo menor a $10 \text{ t/ha}^{-1}, \text{año}^{-1}$ es el 93,85% del área total de la Subcuenca, y de nivel de erosión muy alta, con una pérdida de suelo mayor a $100 \text{ t/ha}^{-1}, \text{año}^{-1}$ ocupó el 5,41% del área total de la subcuenca (Tabla 11 y Figura 17).

Tabla 11. Tasa de erosión de suelo en la Subcuenca Chinata

Pérdida de suelo ($\text{t/ha}^{-1}, \text{año}^{-1}$)	Calificación de pérdida de suelo	Área (Ha)	Área (%)
Menor de 10	Ligera	5071,60	93,85
11 a 25	Baja	10,1	0,19
26 a 50	Moderada	5,61	0,10
51 a 100	Alta	24,44	0,41
Mayor de 100	Muy alta	292,25	5,41
Total		5404,00	100,00

IV. DISCUSIÓN

Para determinar el Factor de Erosividad de la Precipitación (R) en la Subcuenca Chinata (Figura 12) se utilizó el promedio de precipitación anual del periodo 2013-2018 de 20 estaciones ubicadas fuera del área de estudio; donde el valor mínimo para el Factor (R) fue $3465,7 \text{ MJ.mm.ha}^{-1}.\text{año}^{-1}$ y el máximo $7669,24 \text{ MJ.mm.ha}^{-1}.\text{año}^{-1}$. En cambio Díaz (2014), utilizó datos de precipitación de un periodo de 31 años de 03 estaciones pluviométricas dentro de la Subcuenca del río Angasmarca, la disponibilidad de datos le permitió determinar los valores de K en promedio anual y mensual, determinando así que el Factor R medio son $5,324 \text{ MJ.ha}^{-1}.\text{mm.h}^{-1}$, $3,564 \text{ MJ.ha}^{-1}.\text{mm.h}^{-1}$ y $4,19 \text{ MJ.ha}^{-1}.\text{mm.h}^{-1}$ para las estaciones de Cachicadán, Santiago de Chuco y Mollepata, respectivamente.

Flores *et al.* 2003 en México determinó que el valor para el Factor (K) en la cuenca Hidrográfica de Tepatitlán varió de 0,025 a 0,035 $(\text{t/ha/h}) (\text{ha/MJ/mm})^{-1}$, con una marcada susceptibilidad de los suelos de la parte norte de la cuenca, lugar donde se localizan las unidades de Planosol eútrico que son suelos con textura fina, No obstante, los valores para el factor K encontrados para la Subcuenca Chinata van desde los 0,0011 $(\text{t/ha/h}) (\text{ha/MJ/mm})^{-1}$ hasta el 0,038 $(\text{t/ha/h}) (\text{ha/MJ/mm})^{-1}$.

Para el Factor Topográfico (LS), Díaz (2014), en su estudio realizado en la Subcuenca del Río Angasmarca, La Libertad, encontró que los niveles más altos de erosión con estimaciones superiores a $97,82 \text{ t.ha}^{-1}.\text{año}^{-1}$, se presentan en las zonas de mayor pendiente como en las divisorias de las micro cuencas, laderas y crestas de los cerros y que las zonas donde ocurren menores pérdidas de suelos, de $77,47 \text{ t.ha}^{-1}.\text{año}^{-1}$ se encuentra en terrenos con pendientes planas a moderadas. Del mismo modo ocurre en la subcuenca Chinata el mayor nivel de erosión se da en las laderas no obstante las áreas con pendiente moderada también presenta niveles de erosión alta con estimaciones superiores a $51 \text{ t.ha}^{-1}.\text{año}^{-1}$ considerado como erosión de nivel Alta; esto se debe a que en esta área se han establecido construcciones, vías, cultivos y hay escasa cubierta vegetal. Melchor & Chagoya (2016) en su diagnóstico de la Erosión Hídrica en la Cuenca del Río Tuxpan, Veracruz, México clasificaron 04 tipos de cobertura con valores para C que fluctuaron de 0 a 0,5; donde los valores bajos se

asociaron a las áreas con cobertura de bosque (0,001), vegetación secundaria (0,002 a 0,003) y pastizales (0,004), mientras que el máximo valor fue para la agricultura anual y semipermanente (0,5). En la Subcuenca Chinata se identificaron 04 clases (Figura 15) con valores que van desde 0,0001 hasta 1. Ceballos & Toro (2012), en Colombia implementaron un modelo para la evaluación de la susceptibilidad a la erosión por medio de la utilización de SIG, ellos clasificaron la susceptibilidad de erosión en 09 niveles y encontraron que la susceptibilidad de erosión es más del 65, 6 % categoría Muy Baja y solo un 0,4 % en la clasificación de susceptibilidad Muy Alta; sin embargo para la Subcuenca Chinata se utilizó una clasificación de 05 niveles: Ligera, Baja, Moderada, Alta y Muy Alta; donde el 94,37% del área de estudio presenta un nivel de erosión Ligera y el 5,09% presenta un nivel de erosión Muy Alta.

El método de interpolación spline es útil para determinar valores en puntos desconocidos (ESRI, 2018), en este estudio permitieron determinar los valores desconocidos del factor erosividad y erodabilidad, los que están estrechamente relacionados con la erosión hídrica, como lo indica Pardo (2014), en su estudio.

El análisis de mapas de erosión de suelos nos permiten plantear medidas de adaptación y mitigación frente al cambio climático (Hill *et al.*, 2014). Con los resultados se demuestra que el 2,3% del área de la Subcuenca Chinata (Tabla 11) presenta una erosión que supera las 100 ton/ha⁻¹.año⁻¹, con esa tasa se considera que esta área se encuentra en proceso de degradación ambiental (Díaz, 2015).

Por tal motivo se debe priorizar los problemas de la calidad del suelo y deforestación, porque actualmente los recursos naturales de las zonas forestales en el Perú, no reciben la importancia que merecen, del mismo modo es importante la transparencia en la planificación y toma de decisiones para el desarrollo de infraestructuras y explotación de reservas (Dourojeanni *et al.*, 2010). En ese sentido para corregir el conflicto de uso de la tierra y disminuir la erosión (Lianes *et al.*, (2009), recomienda aplicar planes de manejo integrado que implementen prácticas para la conservación de suelos y aguas.

V. CONCLUSIONES

- En la Subcuenca Chinata se determinaron 05 niveles de erosión (Tabla 11); tales como: Ligera, Baja, Moderada, Alta y Muy Alta.
- El nivel más alto de erosión, denominado muy alta afecta al 5,41 % del área de la Subcuenca Chinata y se pierden hasta 8 891 t.ha⁻¹año⁻¹; de otra manera el 93,85 % del área de la Subcuenca Chinata, presenta erosión de tipo ligera, con una pérdida inferior a 10 t.ha⁻¹año⁻¹.
- El área que presenta erosión ligera presenta una pendiente de 10% a 20% y el tipo de cobertura vegetal que predomina es el bosque.
- En la erosión hídrica influyen factores antrópicos como el abandono de campos de cultivo y cambio en el uso del suelo. No obstante, en la Subcuenca Chinata la pérdida del suelo está influenciada por la cobertura vegetal, ausencia de prácticas de conservación de suelos, pendientes pronunciadas y la expansión del área urbana.
- El área que presenta erosión de nivel muy alta presenta una pendiente de 1 al 10% y el tipo de cobertura que predomina es cultivo.

VI. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Bazán, M. (2017). *Manual de procedimientos de los análisis de suelos y agua con fines de riego*. Instituto Nacional de Innovación Agraria, Lima, Perú.
- Cabrejos, N. (2016). *Modelamiento geoespacial en la determinación del riesgo, vulnerabilidad y de la cuantificación de la erosión hídrica en la Subcuenca del río Atuen-Amazonas*. (Tesis de pregrado). Universidad Nacional Agraria la Molina. Lima, Perú.
- Carpintero, I.; Rigol, J.; Pardo, E. & Rodríguez, V. (2007). Aplicación de imágenes ASTER Y ETM⁺ para el estudio de la susceptibilidad a la erosión en una zona semiárida (SE España). *Revista de Teledetección*. V28, pp13-23.
- Castillo, J. & Estrada, J. (2016). *Determinación de zonas de erosión hídrica a partir de la ecuación universal de la pérdida del suelo (R,USLE), Sistemas De Información Geográfica y técnicas de teledetección en la ciudad de Bogotá D,C Para el año 2013*. (Tesis de pregrado). Universidad Distrital Francisco José de Caldas. Bogotá, Colombia.
- Ceballos, D. & Toro, L. (2012). Evaluación de la susceptibilidad a la erosión por el cambio de cobertura debido a la minería, en el Municipio de Anorí, Antioquia, Colombia. *Revista gestión y ambiente*. V15, pp51-64.
- Cepeda, M. (2015). *Estimación del índice de agresividad climática bajo escenarios de cambio climático y su implicación en la pérdida de suelo en la cuenca Ubaté – Suárez, Departamento de Cundinamarca y Boyacá*. (Tesis de pregrado). Universidad Santo Tomás, Bogotá, Colombia.
- Colotti, E. (1999). La erosividad: cualidad de la lluvia poco conocida. *Red de Revistas Científicas de América Latina y el Caribe, España y Portugal*. V21, pp129-142.
- Díaz, J. (2014). Diagnóstico del potencial de erosión hídrica mediante técnicas de geoprocésamiento en la Sub-cuenca del Río Angasmarca, La Libertad, Perú. *Revista Anales Científicos*. V75, pp283-293.
- Díaz, R.; Contreras, G. & Mouhaffelb, A. (2015). Aplicación del método de los mínimos cuadrados para la obtención de los parámetros de los

modelos de Henderson y Chung-Pfost. *Educación Química*. V26, pp129-135.

Dourojeanni, M.; Barandiarán, A. & Dourojeanni, D. (2010). *Amazonía peruana en 2021*. Explotación de recursos naturales e infraestructura. V1, Lima, Perú. Edit; G & G Impresores SAC.

Dumas, A. (2012). Riesgo de erosión hídrica en la cuenca Hidrográfica del Río Mundo. (Tesis de maestría). Universidad Complutense de Madrid, Madrid, España.

Environmental Systems Research Institute (ESRI). (2018). *Como comprender al análisis de interpolación*. Recuperado de: <http://desktop.arcgis.com/es/arcmap/10.3/tools/spatial-analyst-toolbox/understanding-interpolation-analysis.htm>

Environmental Systems Research Institute (ESRI). (2018). ArcGIS Desktop. Recuperado a partir de <http://desktop.arcgis.com/es/arcmap/10.3/tools/spatial-analyst-toolbox/how-idw-works.htm>

Environmental Systems Research Institute (ESRI). (2018). ArcGIS Desktop. Recuperado a partir de <http://desktop.arcgis.com/es/arcmap/10.3/manage-data/raster-and-images/apparent-reflectance-function.htm>

FAO. (Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura). (2000). *Los principales factores ambientales y de suelos que influyen sobre la productividad y el manejo*, Manual on integrated soil management and conservation practices, FAO, Roma, Madrid.

FAO. (2011). *El estado de los recursos de tierras y aguas del mundo para la alimentación y la agricultura. La gestión de los sistemas en situación de riesgo*. FAO, Roma, y Mundi-Prensa, Madrid.

FAO. (2015). *Los suelos están en peligro, pero la degradación puede revertirse*. FAO, Roma, Italia.

FAO. (2016). *El estado mundial de la agricultura y la alimentación, Cambio climático, agricultura y seguridad alimentaria*. FAO, Roma, Italia.

- FAO. (2017). *Use of ¹³⁷CS for soil erosion assessment*, FAO y International Atomic Energy Agency, Roma, Italia.
- Flores, F. y Briones, L. (2011). *Influencia del material parental y zonas de vida en el contenido de taninos en Caesalpinia spinosa L (Molina Kuntze)-Tara*. Obtenido de: http://www.cnf.org.pe/secretaria_conflat/memorias/DOCUMENTO%20MESAS/MESA%202/Florencio%20Flores%20Tapia.pdf.
- Flores, E.; Martínez, M.; Oropeza, J.; Mejía, E. & Carrillo, R. (2003). Integración de la EUPS a un SIG para estimar la erosión hídrica del suelo en una cuenca hidrográfica de Tepatitlán, Jalisco, México. *Red de Revistas Científicas de América Latina, el Caribe, España y Portugal*. V21, PP233-244.
- Franco, R. (2017). *Composiciones Landsat en ARCGIS, Guía Básica, Bogotá, Colombia*. 45p. Obtenido de: <http://wp.me/p2IwQU-1bh>
- Fuentes, J. (2011). Guía Teórico Práctica N° 1 : Tamaño de Partículas y Color del Suelo. Obtenido de: https://www.um.es/geograf/sigmur/cursos/SIG_clima.pdf
- García, P. (2004). Interacciones entre la vegetación y la erosión hídrica. *Revista Ecología del bosque mediterráneo en un mundo cambiante*. V84, pp309-334.
- GRA, (Gobierno Regional de Amazonas) y IIAP (Instituto de Investigación de la Amazonia Peruana). (2010). *Zonificación Ecológica y Económica del Departamento de Amazonas*. Iquitos, Perú,
- Gobierno Regional de Amazonas. (2013). *Estudio de diagnóstico y zonificación para el tratamiento de la demarcación territorial de la provincia de Bongará*. Chachapoyas, Perú.
- GRA (Gobierno Regional de Amazonas). (2016). Informe del Estado del Ambiente Región Amazonas. Amazonas, Perú.
- Gómez, (2002). *Evaluación de la erosión potencial y producción de sedimentos en tres cuencas de Costa Rica*. (Tesis de pregrado). Universidad de Costa Rica. San José, Costa Rica.

- Hill, M.; Clérico, C.; Mancassola, V. & Sánchez, G. (2014). Estimación de pérdidas de suelo por erosión hídrica en tres diferentes sistemas de manejo hortícola del sur de Uruguay. *Agrociencia Uruguay*. V19, pp 2301-1548.
- INEI. (Instituto Nacional de Estadística e Informática). (2016). Territorio y Suelos. *Anuario de Estadísticas Ambientales*, pp34.
- INEGI. (Instituto Nacional de Estadísticas y Geografía). (2011). *Modelos de Elevación Digitales*. ¿Qué es un modelo de elevación digital? .Obtenido de:
<http://www.inegi.org.mx/geo/contenidos/datosrelieve/continental/quees mde.aspx>
- INEGI. (Instituto Nacional de Estadísticas y Geografía). (2011). *Imágenes del Territorio*, Imágenes Satelitales. Obtenido de:
<http://www.inegi.org.mx/geo/contenidos/imgpercepcion/imgsatelite/default.aspx>
- Lianes, E.; Marchamalo, M. & Roldán, M. (2009). Evaluación del factor C de la RUSLE para el manejo de coberturas vegetales en el control de la erosión en la Cuenca del Río Birrí. *Revista Agronomía Costarricense*. V33, pp217-235.
- López, J. (2014). *Influencia del cambio de uso sobre la erosión del suelo, carbono transportado por erosión y stocks de carbono en ambientes semiáridos mediterráneos*. (Tesis Doctoral). Universidad de Valencia, Valencia, España.
- Martínez, J. (2008). Sistema de información geográfica y su uso en geotermia: Breves técnicas. *Boletín IIE*. V32, pp129-130.
- Melchor, J. & Chagoya, J. (2016). Diagnóstico de la Erosión Hídrica en la Cuenca del Río Tuxpan, Veracruz, México. *Revista, Aqua Lac*. V8, pp25-35.
- MINAM. (2014). Guía para muestreo de Suelos. Obtenido de:
http://www.minam.gob.pe/wp-content/uploads/2014/04/GUIA-MUESTREO-SUELO_MINAM1.pdf.

- Mora, I. (1987). *Aplicación para definir acciones de manejo en la cuenca del río Pejiballe, vertiente Atlántica, Costa Rica*. (Tesis de maestría). Universidad de Costa Rica, San José, Costa Rica.
- Norma Mexicana NMX-AA-132-SCFI-2016. Recuperado de: <http://www.economia-nmx.gob.mx/normas/nmx/2010/nmx-aa-132-scfi-2016.pdf>
- ONU. (Organismo de las Naciones Unidas). (2017). Departamento de asuntos económicos y sociales, New York.
- Pardo, B. (2014). *Influencia de la humedad inicial en la erosión hídrica de un talud*. (Tesis de pregrado). Universidad del Bío-Bío, Asunción, Chile.
- Pérez, S. (2001). *Modelo para evaluar la erosión hídrica en Colombia utilizando sistemas de información geográfica*. (Tesis de maestría). Universidad Industrial de Santander, Bogotá, Colombia.
- Rodríguez, F.; Bendayan, L.; Rojas, C. & Calle, C. (1991), Los suelos de la Región del Amazonas según unidades fisiográficas. *Revista Folia Amazónica*. V3, pp20.
- Saborío, J. (2000). *Estudio de erosión para la República de Guatemala*. Centro Agronómico Tropical de Investigación y Enseñanza. Turrialba, Costa Rica.
- Sanchez, M. (2014). *Análisis Físico-Químico de suelos*. Instituto de Investigación para el Desarrollo Sustentable de Ceja de Selva. Chachapoyas, Amazonas, Perú.
- USDA. (United States Department of Agriculture). (1999). *Guía para la Evaluación de la Calidad y Salud del Suelo*, Instituto de Calidad de Suelos. EE,UU.

VII. ANEXOS

ANEXO 1. Mapa de las zonas de vida encontradas en la Subcuenca Chinata

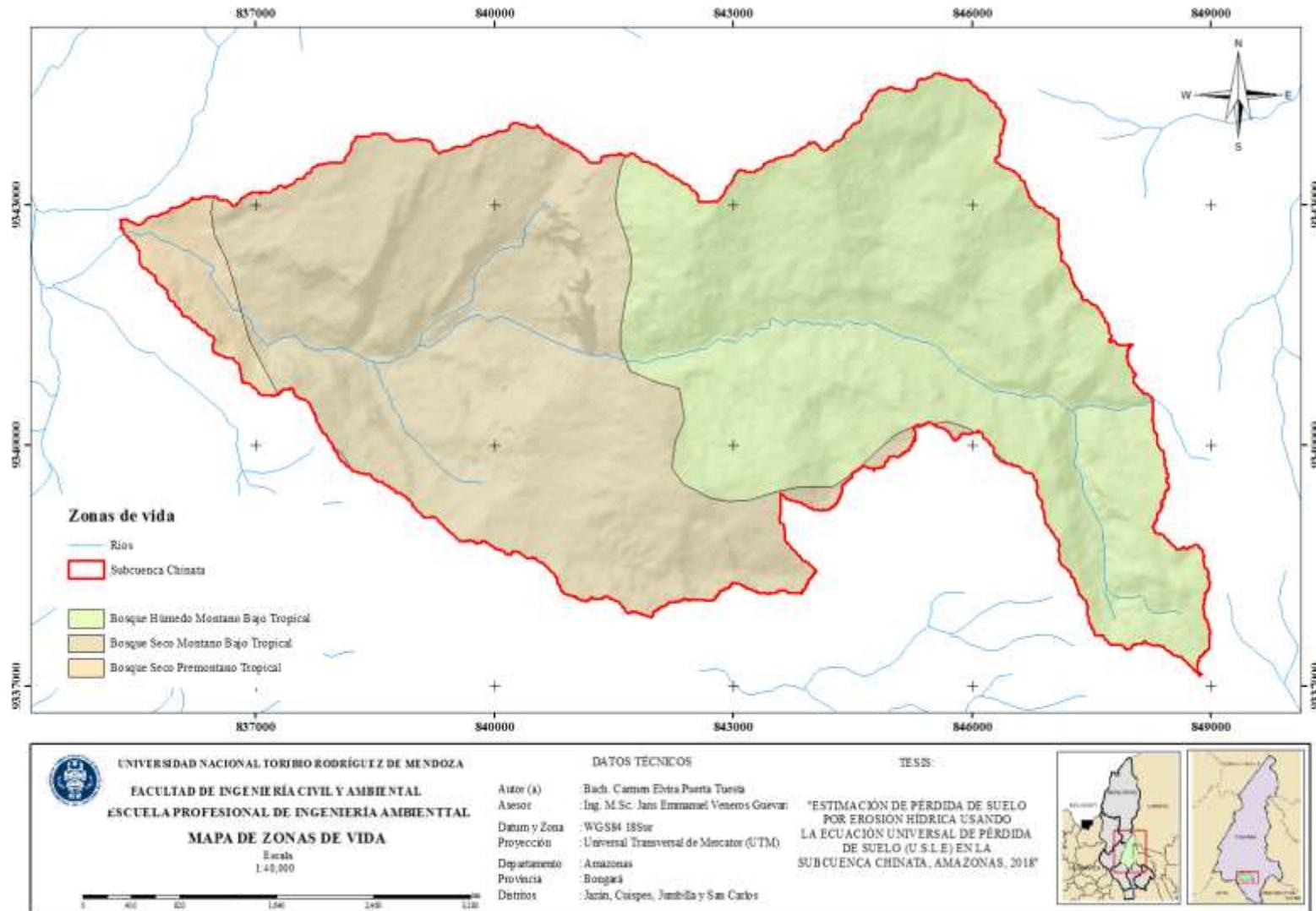


Figura 18. Zonas de vida en la Subcuenca Chinata

ANEXO 2. Ubicación de los puntos de muestreo para análisis de Textura y Contenido de Materia Orgánica en la Subcuenca Chinata

Tabla 12. Puntos de muestreo de suelos en la Subcuenca Chinata

ID	Este	Norte	Altitud msnm	Código
1	182707,75	9340267,42	2941,04	ZC1
2	180521,65	9340330,83	2898,47	ZC2
3	182067,88	9340035,20	2917,808	ZC3
4	180520,19	9340333,48	2894,72	ZC4
5	178357,00	9340752,02	2709	ZC5
6	180260,66	9340458,75	2872,04	ZC6
7	179861,20	9339796,53	2895,06	ZC8
8	173035,57	9340938,29	1821,81	ZB1
9	173280,00	9341736,67	1582,77	ZB2
10	173163,50	9341594,92	1550,38	ZB3
11	173566,85	9342521,88	1795,774	ZB4
12	173640,86	9340075,05	1849,00	ZB5
13	175588,04	9340929,64	1905	ZB6
14	174235,42	9339625,13	1959,61	ZB7
15	176558,97	9339591,16	2556,91	ZB8
16	177197,92	9338531,85	2697,73	ZB9
17	177775,21	9338189,35	2761,78	ZB10
18	171365,91	9342783,41	1389,38	ZA1
19	172041,00	9342511,41	1416,85	ZA2
20	171089,22	9342649,76	1373,72	ZA3
21	173041,96	9341732,52	1411,46	ZA4
22	172839,10	9341866,15	1565,03	ZA5
23	171444,19	9342198,38	1431,08	ZA6
24	172634,33	9340822,79	1794,82	ZA9
25	172145,13	9341218,21	1626,19	ZA10



Figura 19. Muestreo de suelos en la Subcuenca Chinata

- a) Georreferenciación del punto de muestreo. b) Georreferenciación de punto de control. c) Cuarteo de la muestra. d) Codificación de la muestra para su traslado. e) Secado de la muestra en el laboratorio. f) Determinación de clase textural.

ANEXO 3. Resultados de los análisis de Textura y Contenido de Materia Orgánica realizados en el Laboratorio de Suelos y Aguas-LABISAG



UNIVERSIDAD NACIONAL
TORIBIO RODRÍGUEZ DE
MENDOZA DE AMAZONAS

Instituto de Investigación para el Desarrollo
Sustentable de Ceja de Selva, INDES-CES
Laboratorio de Investigación de Suelos Y Aguas

"Año del Diálogo y la Reconciliación Nacional"

Chachapoyas, 26 de setiembre del 2018

CARTA N° 125-2018-UNTRM/INDES-CES/LABISAG/SUELOS

Solicitante:

CARMEN ELVIRA PUERTA TUESTA

Presente:

Asunto: Alcanza resultado de muestras de suelo

De mi consideración;

Me dirijo a usted para expresarle un cordial saludo y al mismo tiempo alcanzar, en 03 folios hábiles, el resultado de los análisis de las muestras de suelo realizado en el Laboratorio de Investigación de Suelos y Aguas de la UNTRM, correspondiente a los distritos de San Carlos, Cuispes y Jazán, provincia Bongará, departamento Amazonas.

Seguro de la atención al presente y sin otro en particular, aprovecho la oportunidad para testimoniarle las muestras de mi consideración y estima.

Atentamente,

UNIVERSIDAD NACIONAL
"TORIBIO RODRÍGUEZ DE MENDOZA DE AMAZONAS"
LABORATORIO DE INVESTIGACIÓN DE SUELOS Y AGUAS - LABISAG

Toc. Elder Chiriqui Vela
RESPONSABLE DEL AREA DE SUELOS

Cc:
Archivo.

Campus Universitario, Barrio de Higos Urco, Teléfono 041-477694, Chachapoyas, Perú



"UNIVERSIDAD NACIONAL TORIBIO RODRÍGUEZ DE MENDOZA DE AMAZONAS"
 INSTITUTO DE INVESTIGACIÓN PARA EL DESARROLLO SUSTENTABLE DE CEJA DE SELVA
 LABORATORIO DE INVESTIGACION EN SUELOS Y AGUAS



ANÁLISIS DE SUELOS : CLASE TEXTURAL

1. DATOS :

Solicitante : CARMEN ELVIRA PUERTA TUESTA

Departamento : AMAZONAS

Provincia : BONGARÁ

Distrito : SAN CARLOS

Anexo :

Sector : ATUMPAMPA

Fecha : 26/09/18

2. RESULTADO DEL ANÁLISIS SOLICITADO

Lab	Número de Muestra	C	M.O	N	Análisis Mecánico			Clase Textural
					Arena	Limo	Arcilla	
		%	%	%	%	%	%	
660	ZA1	3.11	5.36	0.27	70.0	10.0	20.0	Fr.A.
661	ZA2	1.78	3.05	0.15	40.0	18.0	42.0	Ar
662	ZA3	4.44	7.66	0.38	80.0	4.0	16.0	Fr.A.
663	ZA4	4.44	7.66	0.38	60.0	14.0	26.0	Fr.Ar.A.
664	ZA5	2.22	3.83	0.19	54.0	16.0	30.0	Fr.Ar.A.
665	ZA6	2.89	4.98	0.25	60.0	10.0	30.0	Fr.Ar.A.
666	ZA9	3.64	6.28	0.31	24.0	10.0	66.0	Ar
667	ZA10	3.20	5.52	0.29	52.0	16.0	32.0	Fr.Ar.A.
668	ZB1	3.60	6.21	0.31	28.0	12.0	60.0	Ar

A = Arena ; A.F. = Arena Finesca ; Fr.A. = Franco Arenoso ; Fr. = Franco ; Fr.L. = Franco Lento ; L = Lento ; Fr.Ar.A. = Franco Arcillo Arenoso ; Fr.Ar. = Franco Arcilloso ; Fr.Ar.L. = Franco Arcillo Lento ; Ar.A. = Arcillo Arenoso ; Ar.L. = Arcillo Lento ; Ar. = Arcilloso





ANÁLISIS DE SUELOS : CLASE TEXTURAL

1. DATOS :

Solicitante : CARMEN ELVIRA PUERTA TUESTA

Departamento : AMAZONAS

Provincia : BONGARÁ

Distrito : SAN CARLOS Y CUISPES

Anexo :

Sector :

Fecha : 26/09/18

2. RESULTADO DEL ANÁLISIS SOLICITADO

Lab	Número de Muestra	C	M.O	N	Análisis Mecánico			Clase Textural
					Arena	Limo	Arcilla	
		%	%	%	%	%	%	
669	ZB2	1.33	2.30	0.11	34.0	6.0	60.0	Ar
670	ZB3	0.67	1.15	0.06	44.0	14.0	42.0	Ar
671	ZB4	3.11	5.36	0.27	40.0	24.0	36.0	Fr.Ar
672	ZB5	2.98	5.13	0.26	78.0	16.0	6.0	A.Fr
673	ZB6	3.33	5.75	0.29	74.0	16.0	10.0	Fr.A
674	ZB7	2.00	3.45	0.17	68.0	10.0	22.0	Fr.Ar.A
675	ZB8	1.33	2.90	0.11	36.0	6.0	56.0	Ar
676	ZB9	2.22	3.83	0.19	44.0	8.0	48.0	Ar
677	ZB10	3.11	5.36	0.27	24.0	6.0	68.0	Ar

A = Arena ; A.Fr. = Arena Franco ; Fr.A. = Franco Arcilloso ; Fr. = Franco ; Fr.L. = Franco Limoso ; L. = Limo ; Fr.Ar.A. = Franco Arcilloso ; Fr.Ar. = Franco Arcilloso ; Fr.Ar.L. = Franco Arcilloso Limoso ; Ar.A. = Arcilloso ; Ar.L. = Arcilloso Limoso ; Ar. = Arcilloso



ANÁLISIS DE SUELOS : CLASE TEXTURAL

1. DATOS :

Solicitante : CARMEN ELVIRA PUERTA TUESTA

Departamento : AMAZONAS

Provincia : BONGARÁ

Distrito : JAZÁN

Anexo :

Sector :

Fecha : 26/09/18

2. RESULTADO DEL ANÁLISIS SOLICITADO

Lab	Número de Muestra	C	M.O	N	Análisis Mecánico			Clase Textural
					Arena	Limo	Arcilla	
		%	%	%	%	%	%	
678	ZC1	3.64	6.28	0.31	74.0	12.0	14.0	Fr.A
679	ZC2	4.00	6.90	0.34	72.0	6.0	20.0	Fr.A
680	ZC3	3.89	1.53	0.08	54.0	20.0	26.0	Fr.Ar.A
681	ZC4	4.11	7.09	0.35	68.0	12.0	20.0	Fr.A
682	ZC5	3.64	6.28	0.31	72.0	16.0	12.0	Fr.A
683	ZC6	4.33	7.47	0.37	80.0	10.0	10.0	A.Fr.
684	ZC8	3.64	6.28	0.31	66.0	16.0	16.0	Fr.A

A = Arena ; A.Fr. = Arena Franco ; Fr.A. = Franco Arcilloso ; Fr. = Franco ; Fr.L. = Franco Limoso ; L. = Limo ; Fr.Ar.A. = Franco Arcilloso ; Fr.Ar. = Franco Arcilloso ; Fr.Ar.L. = Franco Arcilloso Limoso ; Ar.A. = Arcilloso ; Ar.L. = Arcilloso Limoso ; Ar. = Arcilloso



Figura 20. Resultados del análisis de las Muestras realizadas en el Laboratorio de Aguas y Suelos (LABISAG) del INDES-CES

ANEXO 4.

Tabla 13. Puntos de control terrestre tomados dentro y fuera de la Subcuenca

ID	Este	Norte	Elevación	Descripción
1	170445,73	9341782,68	1331,61	Pedro Ruiz Gallo
2	170445,32	9341797,06	1331,34	Pedro Ruiz Gallo 1
3	170444,54	9341797,72	1892,95	San Carlos
4	170444,54	9341797,72	2105,12	Puente shasha
5	174368,43	9337814,46	2148,59	Pte, Shasha Bosque
6	179161,09	9337558,68	2713,73	Tioranta_pampa
7	180320,57	9338016,71	2749,04	Collampan_pampa
8	180169,99	9339045,72	2743,04	Atumpampa_Caverna
9	180221,11	9339040,35	2921,56	Atumpampa
10	180377,66	9339151,41	2807,91	Tragadero_pampa
11	180934,10	9339591,52	2862,31	Calzada_pampa
12	182616,09	9340183,37	2981,44	Bosque
13	182707,74	9340267,41	2941,043	Pajonal
14	182705,43	9340264,52	2940,38	Pajonal
15	182702,10	9340265,61	2969,89	Pajonal
16	182106,78	9340055,54	2912,51	Quebrada
17	182067,88	9340035,19	2917,80	bosque
18	181766,91	9340075,13	2898,12	pampa
19	180602,99	9340160,47	2898,35	bosque
20	180520,19	9340333,48	2894,72	cultivo
21	180517,31	9340332,80	2892,19	cutivo
22	180521,64	9340330,83	2898,47	cultivo
23	180260,66	9340458,74	2872,04	pampa
24	180062,12	9340449,40	2870,41	Maricucho_pampa
25	179861,19	9339796,53	2895,06	bosque
27	177775,21	9338189,34	2761,78	vía
28	177197,92	9338531,85	2697,73	vía
29	176558,96	9339591,16	2556,91	cultivo
30	176028,88	9338908,28	2044,33	cultivo
31	174143,22	9339515,76	1980,61	Barrio Buena vista
32	173035,57	9340938,28	1821,81	vía_pajonal_arbusto
33	172634,33	9340822,79	1794,82	vía_cultivo
34	172145,12	9341218,21	1626,19	cultivo_arbusto
35	171444,19	9342198,38	1431,08	pasto
36	170941,48	9342050,56	1442,04	cementerio_prg
37	171089,21	9342649,75	1373,72	asfalto
38	171365,90	9342783,40	1389,38	cultivo
39	172040,99	9342511,40	1416,85	vía_cultivo
40	172839,09	9341866,14	1532,03	vía_cultivo
41	173163,50	9341594,91	1550,38	vía_cultivo
42	173279,99	9341736,67	1582,77	vía_cultivo
43	173566,84	9342521,88	1795,77	vía_cultivo

Tabla 13. Puntos de control terrestre tomados dentro y fuera de la Subcuenca

ID	Latitud	Longitud	Elevación	Descripción
44	173041,96	9341732,52	1580,46	vía_cultivo
45	171807,36	9342760,64	1441,45	Quebrada
46	173640,86	9340075,04	1849,00	cultivo

ANEXO 5. Ubicación de los puntos de muestreo de suelos en la Subcuenca Chinata

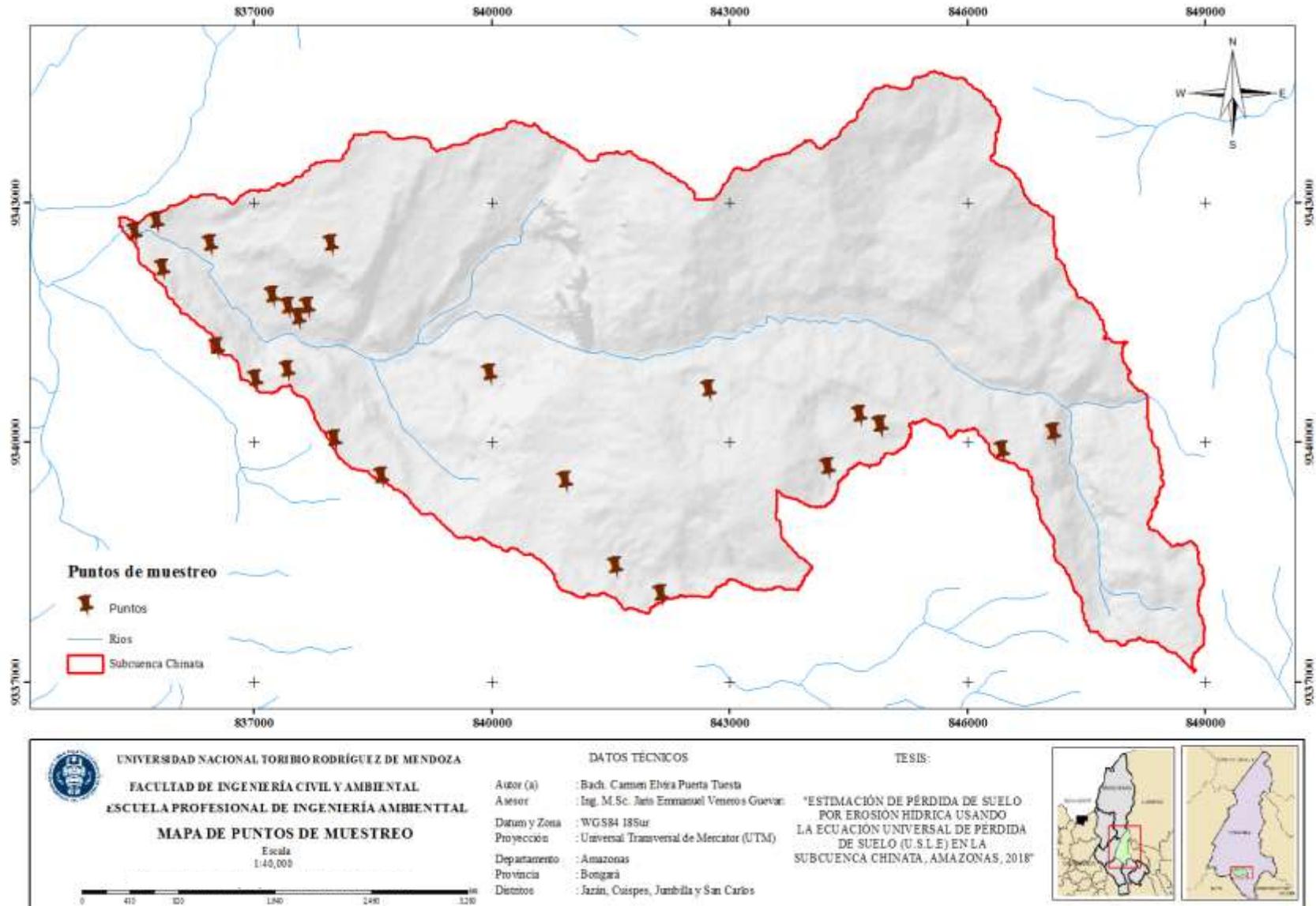


Figura 21. Ubicación de los puntos para muestreo de suelo en la Subcuenca Chinata