



**Universidad Nacional Autónoma de Chota**

**FACULTAD DE CIENCIAS AGRARIAS**

**Unidad de Investigación de la Escuela Profesional de Ingeniería  
Forestal y Ambiental**

**RESOLUCIÓN DE COORDINACIÓN N° 251-2025-FCA/UNACH**

**"Año de la recuperación y consolidación de la economía peruana"**



## **CONSTANCIA DE ORIGINALIDAD**

El que suscribe, Director de la Unidad de Investigación de la Escuela Profesional de Ingeniería Forestal y Ambiental de la Facultad de Ciencias Agrarias de la Universidad Nacional Autónoma de Chota, **hace constar** que la tesis de investigación Titulada **"Estimación de la erosión hídrica utilizando el modelo Usle en la microcuenca Doñana, Chota - Cajamarca"**; ejecutado por el Bachiller **Jhan Franly Díaz Rubio** de la Escuela Profesional de Ingeniería Forestal y Ambiental, **asesorado por el M. Sc. Jimmy Alberto Díaz Estrada (Asesor) e Ing. Jordan Steve Lozano Delgado (Coasesor)**; presenta un **ÍNDICE DE SIMILITUD DEL 16%**, sin incluir bibliografía; por lo tanto, cumple con el criterio de evaluación de originalidad establecido en el REGLAMENTO DE GRADOS Y TÍTULOS DE LA UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE CHOTA aprobado mediante RESOLUCIÓN DE COMISIÓN ORGANIZADORA N°120-2022-UNACH.

Se expide la presente, a petición de la parte interesada para los fines que estime conveniente.

Chota, 21 de agosto de 2025.

Atentamente

**Dr. Jim Jairo Villena Velásquez**  
**Unidad de Investigación de EPIFA -**  
**UNACH**

# Jhan Franly Díaz Rubio

## TESIS DÍAZ RUBIO JHAN FRANLY -INFORME FINAL 2025.docx

 Jhan Franly Díaz Rubi

 Jhan Franly Díaz Rubi

 Universidad Nacional Autónoma de Chota

### Detalles del documento

Identificador de la entrega

tm:oid::1:3317795338

Fecha de entrega

21 ago 2025, 10:46 a.m. GMT-5

Fecha de descarga

21 ago 2025, 11:10 a.m. GMT-5

Nombre del archivo

TESIS\_DÍAZ\_RUBIO\_JHAN\_FRANLY\_-INFORME\_FINAL\_2025.docx

Tamaño del archivo

17.5 MB

119 páginas

21.716 palabras

115.291 caracteres




## 16% Similitud general

El total combinado de todas las coincidencias, incluidas las fuentes superpuestas, para cá...

### Filtrado desde el informe

- Bibliografía
- Coincidencias menores (menos de 10 palabras)

### Fuentes principales

- 14%  Fuentes de Internet
- 5%  Publicaciones
- 7%  Trabajos entregados (trabajos del estudiante)

### Marcas de integridad

#### N.º de alertas de integridad para revisión

No se han detectado manipulaciones de texto sospechosas.

Los algoritmos de nuestro sistema analizan un documento en profundidad para buscar inconsistencias que permitirían distinguirlo de una entrega normal. Si advertimos algo extraño, lo marcamos como una alerta para que pueda revisarlo.

Una marca de alerta no es necesariamente un indicador de problemas. Sin embargo, recomendamos que preste atención y la revise.

## Fuentes principales

- 14% Fuentes de Internet
- 5% Publicaciones
- 7% Trabajos entregados (trabajos del estudiante)

## Fuentes principales

Las fuentes con el mayor número de coincidencias dentro de la entrega. Las fuentes superpuestas no se mostrarán.

1	Internet	hdl.handle.net	1%
2	Internet	www.repositorio.unach.edu.pe	1%
3	Internet	repositorio.uncp.edu.pe	<1%
4	Trabajos del estudiante	Universidad Nacional Autónoma de Chota	<1%
5	Internet	repositorio.unasam.edu.pe	<1%
6	Internet	repositorioacademico.upc.edu.pe	<1%
7	Trabajos del estudiante	Universidad Nacional de San Cristóbal de Huamanga	<1%
8	Trabajos del estudiante	uncedu	<1%
9	Internet	repositorio.unap.edu.pe	<1%
10	Internet	repositorio.upn.edu.pe	<1%
11	Internet	repositorio.unach.edu.pe	<1%

12	Internet	repositorio.udh.edu.pe	<1%
13	Trabajos del estudiante	Universidad Privada del Norte	<1%
14	Internet	repositorio.ucv.edu.pe	<1%
15	Internet	repositorio.uss.edu.pe	<1%
16	Internet	1library.co	<1%
17	Internet	repositorio.lamolina.edu.pe	<1%
18	Internet	alicia.concytec.gob.pe	<1%
19	Internet	www.repositorio.usac.edu.gt	<1%
20	Internet	repositorio.unh.edu.pe	<1%
21	Internet	repositorio.unp.edu.pe	<1%
22	Internet	repositorio.ucss.edu.pe	<1%
23	Internet	repositorio.espe.edu.ec	<1%
24	Internet	mundoagropecuario.com	<1%
25	Trabajos del estudiante	Universidad Nacional Hermilio Valdizan	<1%

26	Internet	repositorio.upt.edu.pe	<1%
27	Internet	repositorio.espam.edu.ec	<1%
28	Internet	repositorio.umsa.bo	<1%
29	Internet	repositorio.uap.edu.pe	<1%
30	Internet	repositorio.upch.edu.pe	<1%
31	Internet	repositorio.utea.edu.pe	<1%
32	Internet	www.researchgate.net	<1%
33	Internet	repositorio.upla.edu.pe	<1%
34	Internet	docplayer.es	<1%
35	Internet	ojs.brazilianjournals.com.br	<1%
36	Internet	dspace-uh-tmp.igniteonline.la	<1%
37	Internet	repositorio.unu.edu.pe	<1%
38	Internet	dspace.unach.edu.ec	<1%
39	Internet	repositorio.inta.gob.ar	<1%

40	Internet	www.coursehero.com	<1%
41	Trabajos del estudiante	Universidad Nacional Agraria La Molina	<1%
42	Trabajos del estudiante	Universidad Nacional del Chimborazo	<1%
43	Internet	cybertesis.uni.edu.pe	<1%
44	Trabajos del estudiante	ikiam	<1%
45	Internet	m.scirp.org	<1%
46	Internet	repositorio.uancv.edu.pe	<1%
47	Internet	sedici.unlp.edu.ar	<1%
48	Publicación	FC INGENIERIA Y SERVICIOS AMBIENTALES SOCIEDAD ANONIMA CERRADA. "DIA d...	<1%
49	Trabajos del estudiante	Universidad Continental	<1%
50	Trabajos del estudiante	Universidad Pontificia Bolivariana	<1%
51	Internet	cienciasamb.agro.uchile.cl	<1%
52	Internet	core.ac.uk	<1%
53	Internet	cybertesis.unmsm.edu.pe	<1%

54	Trabajos del estudiante	ipn	<1%
55	Publicación	Cotrina, Nazaret Crespo. "Mortalidad no Natural de Anfibios en el Norte de Portu...	<1%
56	Trabajos del estudiante	ULACIT Universidad Latinoamericana de Ciencia y Tecnología	<1%
57	Trabajos del estudiante	Universidad Cesar Vallejo	<1%
58	Trabajos del estudiante	Universidad Peruana Union	<1%
59	Trabajos del estudiante	Universidad de San Martín de Porres	<1%
60	Publicación	Verstraeten, G., "Modelling the impact of land-use change and farm dam constru...	<1%
61	Internet	apirepositorio.unh.edu.pe	<1%
62	Internet	caiefinder.com	<1%
63	Internet	mdpi-res.com	<1%
64	Internet	ouci.dntb.gov.ua	<1%
65	Internet	repositorio.unal.edu.co	<1%
66	Internet	repositorio.unas.edu.pe	<1%
67	Internet	repositorio.upagu.edu.pe	<1%

68	Internet	repositorio.uwiener.edu.pe	<1%
69	Internet	revistas.utea.edu.pe	<1%
70	Internet	www.conamype.gob.sv	<1%
71	Publicación	"Sucesión forestal en microcuencas del sur de Chile : consecuencia de las perturb...	<1%
72	Internet	repositorio.puce.edu.ec	<1%
73	Internet	repositorio.uchile.cl	<1%
74	Internet	repositorio.ucundinamarca.edu.co	<1%
75	Internet	repositorio.untumbes.edu.pe	<1%
76	Internet	repositorioinstitucional.uaslp.mx	<1%
77	Internet	repository.udistrital.edu.co	<1%
78	Internet	www.repositorio.upla.edu.pe	<1%
79	Publicación	Escalante Gutiérrez, Josefina. "Erosión hídrica de la microcuenca lucre en la colm...	<1%
80	Publicación	Mamani Arpasi, Yesica Magnolia. "Evaluación del área y CO2 en bofedales y su rel...	<1%
81	Internet	biblioteca.icap.ac.cr	<1%

82	Internet	cia.uagraria.edu.ec	<1%
83	Internet	ddd.uab.cat	<1%
84	Internet	dgsa.uaeh.edu.mx:8080	<1%
85	Internet	doczz.es	<1%
86	Internet	es.slideshare.net	<1%
87	Internet	repositorio.continental.edu.pe	<1%
88	Internet	repositorio.unsch.edu.pe	<1%
89	Internet	repositorio.utn.edu.ec	<1%
90	Internet	riaa-tecno.unca.edu.ar	<1%
91	Internet	upc.aws.openrepository.com	<1%
92	Internet	www.comite-costea.fr	<1%
93	Internet	www.geofocus.org	<1%

**UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE CHOTA**  
**FACULTAD DE CIENCIAS AGRARIAS**  
**ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA FORESTAL Y AMBIENTAL**



**“ESTIMACIÓN DE LA EROSIÓN HÍDRICA UTILIZANDO EL MODELO  
USLE EN LA MICROCUENCA DOÑANA, CHOTA - CAJAMARCA”**

**TESIS**

PARA OPTAR EL TÍTULO PROFESIONAL  
DE INGENIERO FORESTAL Y AMBIENTAL

**AUTOR**

Bach. Jhan Franly Díaz Rubio

**ASESOR**

Ing. M. Sc. Jimmy Alberto Díaz Estrada

**COASESOR**

Ing. Jordan Steve Lozano Delgado

**CHOTA – PERÚ**

**2025**



Anexo 01:

ACTA DE SUSTENTACIÓN DE TESIS

REG. N° 023 -2025-FCA

Siendo las .....14..... horas, del día .....25 de .....MAYO..... de .....2025....., los miembros del Jurado de Tesis titulada: "Estimación de la erosión hídrica utilizando el modelo USLE en la microcuenca Doñana, Chota- Cajamarca.", integrado por:

1. Mtr. Denisse Milagros Alva Mendoza (Presidente)
2. M. Sc. Yuli Anabel Chávez Juanito (Secretario)
3. M.Sc. Jim Jairo Villena Velásquez (Vocal)
4. M.Sc. Jimmy Alberto Díaz Estrada (Asesor)
5. Ing. Jordan Steve Lozano Delgado (Coasesor)

Sustentada de manera presencial, por el **Bach. Jhan Franly Díaz Rubio**, con la finalidad de obtener el Título Profesional de Ingeniero Forestal y Ambiental.

Terminada la sustentación, con las preguntas formuladas por los integrantes del Jurado y las respuestas otorgadas por el graduando, luego de deliberar, acuerda.....aprobar..... la tesis, calificándola con la nota de: .....16..... (Dieciséis.....), se eleva la presente Acta al Coordinador de la Facultad de Ciencias Agrarias, a fin de que se le declare .....APR..... para conferirle el correspondiente título profesional

Colpa Matara, 28 de mayo del 2025

  
.....  
Mtr. Denisse Milagros Alva Mendoza  
Presidente

  
.....  
M. Sc. Yuli Anabel Chávez Juanito  
Secretario

  
.....  
M.Sc. Jim Jairo Villena Velásquez  
Vocal

  
.....  
M.Sc. Jimmy Alberto Díaz Estrada  
Asesor

  
.....  
ING. JORDAN STEVE LOZANO DELGADO  
Ingeniero Geógrafo  
Reg. CIP. N° 300404  
.....  
Ing. Jordan Steve Lozano Delgado  
Coasesor

## **AGRADECIMIENTOS**

Agradezco al Ing. M. Sc. Jimmy Alberto Diaz Estrada por compartir sus conocimientos científicos y brindarme total confianza para alcanzar los objetivos que me propuse.

Agradezco al Ing. Jordan Steve Lozano Delgado por compartir sus conocimientos científicos, así como por su experiencia y motivación, factores que fueron fundamentales para la culminación exitosa de este trabajo de tesis.

A los docentes de la Universidad Nacional Autónoma de Chota, por compartir sus conocimientos, valores y apoyo, que han sido fundamentales en la formación de mi carrera profesional.

A mis amigos, por regalarme su amistad y confianza a lo largo de toda mi etapa universitaria, compartiendo juntos numerosos momentos inolvidables que siempre llevaré en el corazón.

## **DEDICATORIA**

Agradezco a Dios por otorgarme salud y acompañarme a lo largo de mi formación universitaria, por ser mi guía constante y darme la valentía necesaria para disfrutar plenamente de la vida.

A mis padres, por el enorme esfuerzo que hicieron para que pudiera completar mis estudios, por brindarme su amor incondicional y por enseñarme valores que me han permitido crecer tanto como profesional como, sobre todo, como una mejor persona.

A mis hermanos que han sido mi mayor motivación para ser mejor cada día.

## ÍNDICE DE CONTENIDO

<b>ACTA DE SUSTENTACIÓN .....</b>	<b>2</b>
<b>AGRADECIMIENTOS.....</b>	<b>3</b>
<b>DEDICATORIA.....</b>	<b>4</b>
<b>ÍNDICE DE CONTENIDO .....</b>	<b>5</b>
<b>ÍNDICE DE TABLAS.....</b>	<b>9</b>
<b>ÍNDICE DE FIGURAS.....</b>	<b>10</b>
<b>ÍNDICE DE MAPAS .....</b>	<b>12</b>
<b>ÍNDICE DE ANEXOS.....</b>	<b>12</b>
<b>RESUMEN.....</b>	<b>13</b>
<b>ABSTRACT.....</b>	<b>14</b>
<b>CAPÍTULO I. INTRODUCCIÓN.....</b>	<b>15</b>
1.1. Planteamiento del problema.....	17
1.2. Formulación del problema .....	19
1.2.1. Problema general .....	19
1.2.2. Problemas específicos.....	19
1.3. Justificación .....	19
1.4. Objetivos.....	21
1.4.1. Objetivo general.....	21
1.4.2. Objetivos específicos .....	21
<b>CAPÍTULO II. MARCO TEÓRICO.....</b>	<b>22</b>
2.1. Antecedentes .....	22
2.2. Bases teóricas – científicas .....	27

2.2.1. Erosión hídrica del suelo .....	27
2.2.2. Proceso de erosión .....	28
2.2.3. Erosión hídrica potencial y real .....	30
2.2.4. Tipos de erosión hídrica.....	31
2.2.5. Factores que producen la erosión hídrica .....	37
2.2.6. Efectos de la erosión hídrica.....	48
2.2.7. Sistema de Información Geográfica (SIG) .....	49
2.2.8. Modelo de Datos Espaciales en un SIG.....	51
2.2.9. Imagen de satélite o satélites .....	51
2.2.10. Interpolación .....	52
2.3. Marco conceptual.....	52
2.3.1. Base de datos .....	52
2.3.2. Conservación de suelos.....	52
2.3.3. Desertificación .....	52
2.3.4. Escurrimiento .....	53
2.3.5. Manejo Sostenible del suelo .....	53
2.3.6. Mapa .....	53
2.3.7. Microcuenca .....	54
2.4. Hipótesis .....	54
2.5. Operacionalización de variables .....	54
<b>CAPÍTULO III. METODOLOGÍA .....</b>	<b>55</b>
3.1. Tipo y nivel de investigación.....	55
3.1.1. Tipo de investigación.....	55

3.1.2. Nivel de investigación .....	55
3.2. Diseño de investigación .....	55
3.3. Métodos de investigación .....	56
3.3.1. Área de estudio .....	56
3.3.2. Características del área de estudio .....	58
3.3.3. Modelo USLE.....	62
3.3.4. Fase de gabinete inicial.....	64
3.3.5. Fase de campo.....	64
3.3.6. Fase de laboratorio.....	64
3.3.7. Fase de gabinete final .....	64
3.4. Población, muestra y muestreo .....	73
3.5. Técnicas e instrumentos de recolección de datos .....	74
3.5.1. Técnicas de recolección de datos.....	74
3.5.2. Instrumentos para la recolección de datos .....	74
3.6. Técnicas de procesamiento y análisis de datos .....	75
3.7. Aspectos éticos .....	75
<b>CAPÍTULO IV. RESULTADOS Y DISCUSIONES .....</b>	<b>76</b>
4.1. Descripción de los resultados .....	76
4.1.1. Determinación de los factores de USLE.....	76
A. Factor de erosividad hídrica (R) .....	76
B. Factor de erodabilidad del suelo (K) .....	78
C. Cobertura vegetal o factor (C) .....	81
D. Longitud y gradiente de la pendiente o factor (LS).....	85

E. Estimación de prácticas de conservación de suelos o factor (P) .....	87
F. Estimación de la erosión potencial .....	87
G. Estimación de erosión real o factor (A).....	89
4.2.Contrastación de hipótesis .....	93
4.3.Discusión de resultados .....	93
<b>CAPÍTULO V. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....</b>	<b>96</b>
5.1. Conclusiones.....	96
5.1.1. Conclusión general .....	96
5.1.2. Conclusiones específicas .....	96
5.2.Recomendaciones .....	99
<b>CAPÍTULO VI. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....</b>	<b>100</b>
<b>CAPÍTULO VII. ANEXOS.....</b>	<b>112</b>

## ÍNDICE DE TABLAS

<b>Tabla 1.</b> Códigos USLE de permeabilidad de suelos.....	41
<b>Tabla 2.</b> Valores del factor C según la metodología CORINE LAND COVER .....	45
<b>Tabla 3.</b> Estructura de la leyenda CORINE LAND COVER .....	45
<b>Tabla 4.</b> Operacionalización de variables .....	54
<b>Tabla 5.</b> Parámetros fisiográficos de la microcuenca “Doñana” .....	58
<b>Tabla 6.</b> Parámetros geomorfológicos de la microcuenca “Doñana” .....	59
<b>Tabla 7.</b> Parámetros hidrográficos de la microcuenca “Doñana” .....	60
<b>Tabla 8.</b> Rangos típicos del factor R anual .....	66
<b>Tabla 9.</b> Rangos típicos del factor K anual .....	67
<b>Tabla 10.</b> Rangos típicos del factor LS anual .....	70
<b>Tabla 11.</b> Niveles de erosión hídrica.....	72
<b>Tabla 12.</b> Precipitación promedio de cada estación meteorológica (1992 – 2022) .....	76
<b>Tabla 13.</b> Índice de erosividad del suelo de la microcuenca “Doñana”.....	79
<b>Tabla 14.</b> Clasificación del uso del suelo según CORINE LAND COVER.....	81
<b>Tabla 15.</b> Matriz de confusión o de precisión del factor C de la microcuenca “Doñana” .....	82
<b>Tabla 16.</b> Índice de Kappa del factor C de la microcuenca “Doñana” .....	83
<b>Tabla 17.</b> Grado de pendientes y valor del factor C de la microcuenca “Doñana” .....	85
<b>Tabla 18.</b> Grado de pendientes y valor del factor C de la microcuenca “Doñana” .....	87
<b>Tabla 19.</b> Niveles de la erosión hídrica real de la microcuenca “Doñana”.....	89
<b>Tabla 20.</b> Niveles de erosión hídrica de los centros poblados de la microcuenca Doñana....	90

## ÍNDICE DE FIGURAS

<b>Figura 1.</b> Esquema de procesos de erosión .....	31
<b>Figura 2.</b> Esquema de arrastre de partículas .....	30
<b>Figura 3.</b> Tipos de erosión hídrica .....	34
<b>Figura 4.</b> Erosión por salpicadura .....	35
<b>Figura 5.</b> Erosión en surcos.....	37
<b>Figura 6.</b> Erosión en una cárcava .....	38
<b>Figura 7.</b> Modelo gráfico de erosión USLE.....	39
<b>Figura 8.</b> Capas de los SIG .....	52
<b>Figura 9.</b> Curva hipsométrica de la microcuenca “Doñana” .....	61
<b>Figura 10.</b> Balance hídrico de la microcuenca “Doñana” del año 2022 .....	62
<b>Figura 11.</b> Diagrama del trabajo de investigación .....	63
<b>Figura 12.</b> Metodología para el cálculo del factor R .....	66
<b>Figura 13.</b> Metodología para el cálculo del factor K .....	60
<b>Figura 14.</b> Metodología para el cálculo del factor L.....	69
<b>Figura 15.</b> Metodología para el cálculo del factor S.....	70
<b>Figura 16.</b> Metodología para el cálculo del factor C .....	72
<b>Figura 17.</b> Rangos del índice Kappa del factor C .....	79
<b>Figura 18.</b> Tipo de suelos según la FAO en la Microcuenca Doñana .....	79
<b>Figura 19.</b> Población afectada según el rango de erosión en la microcuenca Doñana .....	91
<b>Figura 20.</b> Población afectada (hombres y mujeres) según el rango de erosión.....	91
<b>Figura 21.</b> Histograma de precipitación anual de la estación Bambamarca .....	115
<b>Figura 22.</b> Prueba “T” de Student de la estación meteorológica Bambamarca .....	115
<b>Figura 23.</b> Prueba “F” de Fisher de la estación meteorológica Bambamarca.....	115

<b>Figura 24.</b> Histograma de precipitación anual de la estación meteorológica Chota.....	116
<b>Figura 25.</b> Prueba “T” de Student de la estación meteorológica Chota.....	116
<b>Figura 26.</b> Prueba “F” de Fisher de la estación meteorológica Chota .....	116
<b>Figura 27.</b> Histograma de precipitación anual de la estación Cochabamba .....	117
<b>Figura 28.</b> Prueba “T” de Student de la estación meteorológica Cochabamba .....	117
<b>Figura 29.</b> Prueba “F” de Fisher de la estación meteorológica Cochabamba.....	117
<b>Figura 30.</b> Histograma de precipitación anual de la estación meteorológica Cutervo .....	118
<b>Figura 31.</b> Prueba “T” de Student de la estación meteorológica Cutervo .....	118
<b>Figura 32.</b> Prueba “F” de Fisher de la estación meteorológica Cutervo.....	118

### ÍNDICE DE MAPAS

<b>Mapa 1.</b> Mapa de ubicación de la microcuenca “Doñana” .....	59
<b>Mapa 2.</b> Mapa del factor R (1992 – 2022) de la microcuenca Doñana del distrito de Chota – Cajamarca .....	78
<b>Mapa 3.</b> Mapa del factor K de la microcuenca Doñana del distrito de Chota – Cajamarca .....	81
<b>Mapa 4.</b> Mapa del factor C de la microcuenca Doñana del distrito de Chota – Cajamarca .....	85
<b>Mapa 5.</b> Mapa del factor LS de la microcuenca Doñana del distrito de Chota – Cajamarca .....	87
<b>Mapa 6.</b> Mapa del nivel de erosión hídrica potencial de la microcuenca Doñana del distrito de Chota – Cajamarca.....	89
<b>Mapa 7.</b> Mapa del nivel de erosión hídrica real de la microcuenca Doñana del distrito de Chota – Cajamarca.....	93

## ÍNDICE DE ANEXOS

<b>Anexo 1.</b> Matriz de consistencia.....	113
<b>Anexo 2.</b> Resultados de textura y materia orgánica del laboratorio de la INIA.....	114
<b>Anexo 3.</b> Resultados de los análisis estadísticos de datos de precipitación .....	115
<b>Anexo 4.</b> Fotografías de la recolección de muestras .....	119

## RESUMEN

En esta investigación se buscó la estimación de la pérdida del suelo mediante la Ecuación Universal del Suelo (USLE) en la microcuenca Doñana, aplicando técnicas de Sistemas de Información Geográficas (SIG) y teledetección, con ello se evaluó los factores principales que causan la erosión como: La erosividad de la lluvia (Factor R), la erodabilidad del suelo (Factor K), la topografía del suelo (Factor LS), la cobertura vegetal (Factor C) y las prácticas de conservación (Factor P). Para el factor R promedio anual se calculó mediante un periodo de 30 años (1992 – 2022) con la metodología de Morgan se obtuvo como valor mínimo de 1007,316 MJ/ha\*mm/hr y el valor máximo de 1226,022 MJ/ha\*mm/hr; para el factor K se utilizó valores de la FAO y la INIA, con la metodología de Sharpley y Williams obteniendo un valor mínimo a 0,022 Ton.h/MJ.mm y un valor máximo de 0,0288 Ton.h/MJ.mm; para el factor LS se usó un DEM de 30 metros de resolución, los resultados fueron en los rangos de 0,3 hasta 18 % y con la metodología de McCool los valores se encuentran entre los rangos de 0 a 3; para el factor C se utilizó una imagen de satélite LANDSAT 9 OLI y se procedió a definir cada tipo de uso del suelo, con la metodología de CORINE LAND COVER se obtuvo los valores de dicho factor; para el factor P se realizó un estudio identificando si existe algún tipo de prácticas de conservación, lo cual no se encontró por lo cual se estableció como valor 1, los resultados mostraron que la erosión es “nula o ligera” con una pérdida de suelo de 9,997 TM/ha/año, lo cual está dentro de los rangos permisibles de erosión.

**Palabras claves:** Microcuenca Doñana, erosión hídrica, pérdida del suelo, teledetección, CORINE LAND COVER.

## ABSTRACT

In this research, we sought to estimate the loss of soil using the Universal Soil Equation (USLE) in the Doñana sub-basin, applying Geographic Information Systems (GIS) and remote sensing techniques, thus evaluating the main factors that cause erosion such as: Rain erosivity (Factor R), soil erodibility (Factor K), soil topography (Factor LS), vegetation cover (Factor C) and conservation practices (Factor P). For the average annual R factor, it was calculated over a period of 30 years (1992 - 2022) with the Morgan methodology, the minimum value obtained was 1007.316 MJ / ha \* mm / hr and the maximum value of 1226.022 MJ / ha \* mm / hr; for the K factor, values from FAO and INIA were used, with the Sharpley and Williams methodology obtaining a minimum value of 0.022 Ton.h/MJ.mm and a maximum value of 0.0288 Ton.h/MJ.mm; for the LS factor, a DEM with 30 meter resolution was used, the results were in the ranges of 0.3 to 18 % and with the McCool methodology the values were between the ranges of 0 to 3; for the C factor, a LANDSAT 9 OLI satellite image was used and each type of land use was defined, with the CORINE LAND COVER methodology the values for said factor were obtained; For the P factor, a study was carried out to identify whether there are any type of conservation practices, which was not found and was therefore established as a value of 1. The results showed that erosion is "Null or Light" with a soil loss of 9,997 MT/ha/year, which is within the permissible ranges of erosion.

**Key words:** Doñana Subbasin, water erosion, soil loss, remote sensing, CORINE LAND COVER.

## CAPÍTULO I. INTRODUCCIÓN

La erosión hídrica es considerada la principal causa de degradación del suelo a nivel mundial, ya que impacta de manera significativa la producción agrícola, la infraestructura y la calidad de los recursos hídricos. Esto genera consecuencias ambientales y económicas para la población, afectando su bienestar, poniendo en riesgo la seguridad alimentaria y dificultando el desarrollo sostenible. Además, este proceso contribuye a la liberación de carbono orgánico almacenado en el suelo en forma de dióxido de carbono hacia la atmósfera, lo que intensifica el calentamiento global ( Reyes Palomino & Cano Ccoa, 2022)

La erosión hídrica es un proceso natural que consiste en la desprendimiento y transporte de partículas del suelo desde la superficie terrestre. Cuando ocurre a baja intensidad, puede contribuir a la formación del suelo; sin embargo, si se intensifica, especialmente por la intervención humana, puede causar daños significativos, como la degradación y pérdida del suelo. Los agentes que provocan la erosión del suelo incluyen el agua (erosión hídrica), el viento (erosión eólica) y las prácticas de labranza en la capa superficial del suelo (Texeira & Olivera, 2014, p. 12).

Los factores naturales más importantes que influyen en la erosión hídrica incluyen la precipitación (lluvias), las propiedades del suelo como su textura, contenido de materia orgánica y carbono, la pendiente del terreno, el tipo de vegetación presente y la implementación de medidas de conservación.

La erosión de suelos en el Perú es uno de los problemas más recurrentes que necesita ser estudiado mayormente en la actualidad para prevenir la erosión hídrica; sin embargo, la información no es suficiente, según Barturen (2016), Los estudios más recientes relacionados con la erosión en el país fueron realizados por el Instituto Nacional de Recursos Naturales (INRENA) en 1996, aunque se llevaron a cabo de forma cualitativa. En cuanto a las estimaciones actuales, se

calcula que alrededor de 8 millones de hectáreas presentan una erosión severa, mientras que aproximadamente 31 millones de hectáreas se consideran moderadamente erosionables. Esta situación afecta directamente la productividad agrícola y ganadera, especialmente en las zonas altoandinas, lo que contribuye al deterioro de la economía local y al empobrecimiento de la población que depende de estas actividades (MINAGRI, 2006).

Tal es el caso de nuestro lugar de estudio la microcuenca “Doñana” que se encuentra ubicada entre las coordenadas 759941.44 m sur y 9279657.71 m este, encontrándose a una altura de 2486 msnm. Abarcando un área de 8336.978 hectáreas dentro del distrito de Chota.

El desarrollo de los Sistemas de Información Geográfica (SIG) ha facilitado el cálculo de la pérdida anual de suelo, al permitir el análisis detallado de datos geoespaciales mediante modelos especializados. Uno de los modelos más utilizados es la Ecuación Universal de Pérdida de Suelo (USLE), formulada por Wischmeier y Smith en 1962. Esta ecuación se basa en la multiplicación de diversos factores: la erosividad de la lluvia (R), la erodabilidad del suelo (K), la longitud y pendiente del terreno (LS), la cobertura vegetal (C) y las prácticas de manejo y conservación del suelo (P), tales como la agricultura en contorno, la rotación de cultivos o el cultivo en franjas, entre otras.

Actualmente, la erosión hídrica representa un problema significativo en el Perú, con implicancias sociales, ambientales y económicas. Por ello, el desarrollo de investigaciones en este ámbito resulta pertinente. Desde el enfoque social, este tipo de estudios permite evaluar los efectos de fenómenos meteorológicos y actividades humanas, así como proponer estrategias de conservación orientadas a mitigar sus impactos negativos, contribuyendo a reducir la migración y a mejorar la calidad de vida de la población. En cuanto a los aspectos ambientales y económicos,

el análisis facilita la implementación de prácticas que ayudan a conservar el suelo y reducir su degradación.

### **1.1. Planteamiento del problema**

El suelo se halla constantemente expuesto a la erosión, pues a principios de los noventa, ya se estimaba que el 56% de la tierra del mundo estaba degradada y mostraba formas leves o graves de este problema (Alewell *et al.*, 2019). Según la Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (FAO) advierte que, de no adoptarse prácticas de conservación, la erosión del suelo podría afectar hasta el 90 % de las tierras para el año 2030. Además, sin medidas de manejo sostenible, la tasa global anual de reducción de suelo aumentaría (Borrelli *et al.*, 2017).

No obstante, esta información sigue siendo incierta, ya que los estudios de modelización global disponibles son limitados. Estos estudios proyectan un incremento de la erosión del suelo de entre el 9 % y el 56 % en las próximas décadas, teniendo en cuenta el aumento previsto de precipitaciones extremas (Eekhout & de Vente, 2022). Estos impactos se traducen en un deterioro tanto de la abundancia como de la calidad de los recursos presentes en la corteza terrestre. Además, la erosión del suelo contribuye a la contaminación de los cuerpos de agua al aumentar la carga de sedimentos y sustancias tóxicas que se dispersan en los ecosistemas acuáticos (Thapa, 2020).

En el caso específico de Centroamérica, se han documentado importantes problemas de degradación del suelo ocasionados por la erosión hídrica, los cuales afectan una extensión de 22,73 millones de hectáreas, lo que equivale al 42 % del territorio nacional. De este total, el 56,4 % presenta una erosión leve, con una pérdida anual de suelo que varía entre 5 y 10 kg/ha. Por otro lado, el 39,7 % del área experimenta erosión moderada, con una pérdida de entre 10 y 50 kg/ha

anualmente, mientras que el 3,9 % del territorio se encuentra en una situación extrema, con pérdidas superiores a los 50 kg/ha cada año (Prado *et al.*, 2017).

En el ámbito de Latinoamérica, Colombia presenta una situación crítica de degradación del suelo, afectando aproximadamente el 40 % de su superficie territorial, lo que equivale a 45.379.058 hectáreas. De esta área degradada, el 20 % experimenta erosión ligera, el 17 % se encuentra en un estado de erosión moderada, el 3 % presenta erosión severa, y el 0,2 % está sometido a un nivel de erosión muy severa. Por su parte en el Perú se considera que la región andina es la más afectada por erosión hídrica, con tasas mayores a 50 ton/ha/año que indican una erosión severa, lo cual es producto de las altas pendientes, por la escasa vegetación, cambios en el uso del suelo, deforestación, fuertes lluvias y escasa profundidad del suelo (Sabino *et al.*, 2017).

En este sentido, en el distrito de Cajamarca que comprende un total de ocho subcuencas, se ha determinado la erosión hídrica con una tasa promedio multianual de 101,7 Tn/ha/año desde 1981 hasta 2014, por lo que se clasifica como erosión es alta de acuerdo con las categorías de FAO (Sabino *et al.*, 2017). Esto se evidencia en la microcuenca Doñana debido a que sostiene áreas de cultivo en zonas de ladera con pendientes pronunciadas, donde se desarrollan malas prácticas de conservación, generando infertilidad y como consecuencia baja productividad de cultivos y pasturas. Asimismo, se registran precipitaciones desde 500 a 1000 mm por año aproximadamente que ocasionan erosión hídrica (Figuroa, 2018).

El método que se ha realizado para el análisis de la erosión hídrica en la microcuenca Doñana es el método USLE con el uso de tecnologías GIS.

## **1.2. Formulación del problema**

### **1.2.1. Problema general**

- ¿Cuál es el grado de erosión hídrica en la microcuenca Doñana del distrito de Chota, según el modelo USLE?

### **1.2.2. Problemas específicos**

- ¿Cómo se estima los factores del modelo de la ecuación Universal de Pérdida de Suelo (USLE) para estimar la erosión hídrica en la microcuenca Doñana del distrito de Chota del departamento de Cajamarca?
- ¿Cuáles son las zonas más vulnerables según el grado de la erosión hídrica en la microcuenca Doñana del distrito de Chota del departamento de Cajamarca?
- ¿Cuál es la cantidad de suelo que se pierde anualmente por la erosión hídrica en la microcuenca Doñana del distrito de Chota del departamento de Cajamarca?

## **1.3. Justificación**

La justificación teórica se fundamenta en la aplicación del modelo matemático USLE (Ecuación Universal de Pérdida de Suelo), el cual se empleó como herramienta para estimar las pérdidas de suelo y, de este modo, identificar de manera precisa las áreas más susceptibles a la erosión. Este enfoque permite abordar el problema de manera estratégica y focalizada (Benavidez *et al.*, 2018). La elección del modelo USLE se basó en su elevada flexibilidad, la facilidad de acceso a los datos necesarios y la capacidad de comparar resultados en diferentes contextos, lo que lo hace aplicable a una amplia variedad de condiciones geográficas y climáticas.

La justificación conceptual se fundamenta en la adopción de un marco teórico que subraya la necesidad de conservar el suelo en su lugar, tanto para garantizar la sostenibilidad de la producción agrícola como para preservar los recursos hídricos. En este contexto, se argumenta que la aplicación del método USLE, integrado con herramientas de Sistemas de Información Geográfica (SIG), constituye una estrategia efectiva para generar resultados prácticos que favorecen un manejo más eficiente y sostenible del suelo, permitiendo así la toma de decisiones informadas para la mitigación de la erosión (Delgado, 2020).

La justificación metodológica se basa en la falta de información geoespacial en el territorio peruano a escalas adecuadas, especialmente en zonas profundamente afectadas por el problema de la erosión hídrica; asimismo, carencia de estrategias para medirla. Por lo tanto, la presente investigación se orientó hacia la construcción de una herramienta metodológica para conocer el comportamiento de la erosión en la microcuenca Doñana de la región Cajamarca, lo cual contribuye a la regulación de tierras y la instauración de políticas de zonificación económica y ecológica.

La justificación ambiental, social y económica está fuertemente relacionadas; ya que la erosión del suelo es un importante indicador del deterioro ecosistémico, con implicaciones ambientales y socioeconómicas. Por lo tanto, los resultados obtenidos contribuyen a la protección del suelo, con el objetivo de preservar los recursos que estos proporcionan. Además, buscan garantizar la seguridad alimentaria global, promoviendo no solo el crecimiento económico, sino también el bienestar humano en equilibrio con la sostenibilidad ambiental.

## **1.4. Objetivos**

### **1.4.1. Objetivo general**

- Determinar el grado de la erosión hídrica mediante el uso del modelo USLE en la microcuena Doñana del distrito de Chota.

### **1.4.2. Objetivos específicos**

- Determinar los factores del modelo de la ecuación Universal de Pérdida de Suelo (USLE) para el cálculo de la erosión hídrica en la microcuena Doñana del distrito de Chota del departamento de Cajamarca.
- Identificar las zonas vulnerables según el grado de la erosión hídrica en la microcuena Doñana del distrito de Chota del departamento de Cajamarca.
- Determinar la cantidad de suelo que se pierde en **t/ha/año** en la microcuena Doñana del distrito de Chota del departamento de Cajamarca.

## CAPÍTULO II. MARCO TEÓRICO

### 2.1. Antecedentes

Rengifo *et al.* (2022) determinaron las pérdidas de suelo ocasionadas por la erosión hídrica, aplicando una metodología de tipo aplicada y con un diseño no experimental. La investigación se enfocó en la aplicación del modelo USLE con el fin de determinar las pérdidas provocados por el problema mencionado, obteniendo como resultados el 75 % y 98 % para los municipios subandinos de Cajibío y Bolívar; en el municipio de Popayán presentó la erodabilidad más alta; mientras que en los municipios altoandinos de Pucará se presentó un índice alto de erosividad equivalente a un 80 % de su superficie; las pérdidas del suelo al año en las partes altoandinas y los valles son moderadas. Se concluyó que el modelo aplicado en su investigación permitió una comprensión del fenómeno de la erosión hídrica; asimismo, las practicas inadecuadas del manejo del suelo andino reducen la cobertura vegetal.

Khairunnisa *et al.* (2020) determinaron la distribución de la erosión anual del suelo mediante el modelo USLE utilizando las Herramientas de Información Geográfica (SIG). El resultado mostró que la erosión media anual del suelo fue de 122,76 ton/ha/año. Los resultados mostraron que la erosión media anual del suelo fue de 122,76 ton/ha/año. El riesgo de erosión bajo (<15 ton/ha/año) abarcó aproximadamente el 2,47 % del área; el nivel moderado (15 a 60 ton/ha/año), el 11,13 %; el nivel alto (61 a 180 ton/ha/año), el 78,53 %; y el nivel muy alto (>180 ton/ha/año), alrededor del 7,87 %. Se concluyó que estos datos pueden utilizarse como una consideración para las medidas de prevención de erosión por parte de la población y las autoridades locales.

Escobar (2019) estimó la erosión actual y real de la comunidad de Puntaqui, aplicando el modelo USLE, con una metodología de investigación de tipo cuantitativa. La investigación

examinó cada factor establecido del modelo en el periodo (2000 – 2017). El factor de erosividad por lluvias (R) fue calificado como bajo, con valores entre 95,83 y 109,13. Para el factor de erodabilidad del suelo (K), se obtuvieron valores entre 0,25 y 0,34, lo que indica que se trata de suelos arcillosos, susceptibles a desprendimientos. En cuanto al factor topográfico (LS), se identificó que los valores más altos se presentan en las quebradas aledañas a la comuna. Por su parte, el factor de cobertura vegetal (C) presentó valores cercanos a 1, lo que refleja una escasa vegetación. El conjunto de estos factores indica que la erosión hídrica es de tipo moderado, con una pérdida promedio de 22,40 ton/ha/año. Se concluyó que el modelo USLE presenta limitaciones cuando no se cuenta con registros históricos suficientes para calcular los factores de la ecuación con precisión.

Roy (2019) adoptó una metodología que integra la ecuación USLE y los Sistemas de Información Geográfica (SIG) para determinar la erosión del suelo y la producción de sedimentos de la cuenca del río Irga en la India. Para ello se generó una ecuación de ley de potencia para estimar el factor de erosividad de precipitaciones (R), y se utilizó el coeficiente de eficiencia del modelo de Nash-Sutcliffe para determinar la precisión del factor R modificado. La erosión media anual del suelo en la cuenca del Irga se estimó en 4,3 t/ha anuales. Por otro lado, se encontró que el rendimiento promedio anual de sedimentos de la cuenca, estimado utilizando la relación de entrega de sedimentos, fue de 1,2 t/ha/año. En conclusión, el bajo rendimiento de sedimentos indica que la mayor parte del suelo erosionado se depositó dentro de la cuenca.

Pham *et al.* (2018) aplicó el modelo USLE en conjunto con el software ArcGIS para determinar la tasa de erosión de la cuenca del río A Sap, con una metodología de investigación del tipo cuantitativa. Los resultados de los factores del modelo USLE fueron los siguientes: El factor R que mide las precipitaciones indicó fluctúa alrededor de 3090 a 3270 mm y la erosividad por

lluvia oscila entre 1634 y 1732; el factor de erosión del suelo K, arrojó valores comprendidos entre 0,18 y 0,32, con los acrisoles háplicos y ferrálicos hiperdústricos como grupos de suelo predominante con un 70% del área natural; el factor LS indica pendientes muy pronunciadas, ya que los valores oscilan de 0 a 30; esto ha provocado un incremento en el caudal, erosión de los suelos. Con estos factores la erosión del suelo se determinó en 33,54 toneladas/hectáreas anuales. Se concluyó que la tasa promedio en pérdida del suelo del río A Sap en Vietnam central fue de 13 t/ha al año; asimismo, la integración del ArcGIS y el modelo USLE ofrece una mejor visión de este problema en las cuencas de los ríos.

Tesfaye *et al.* (2018) estimó la tasa de erosión hídrica en la cuenca de Sodom, utilizando una metodología del tipo cuantitativa. Los resultados de la investigación se ven expresados en los valores encontrados para los factores del modelo USLE: (R) factor de erosividad por precipitaciones, (K) factor de erodabilidad del terreno, (LS) topografía, (C) Cobertura de vegetación y el factor de gestión, cuyos rangos determinados fueron, 990,98 a 1082.1, 0,28 a 0,42, 0 a 121,84, 0,001 a 0,15 y 0,27 a 1; respectivamente, y la tasa de erosión es de 18,699 ton/ha al año. Se concluyó que la deficiente gestión de las cuencas hidrográficas y el uso deficiente de las tierras aportan a la erosión del suelo, que se espera que con el análisis de los resultados anteriores se aporten medidas de solución.

Carrasco & Beretta (2017) calcularon que la erosión hídrica en 99 cuencas hidrográficas aplicando la Ecuación USLE y también la ecuación RUSLE mediante SIG. Para el desarrollo del proceso, se utilizó la herramienta GRASSGIS, donde se delineó las cuencas. Los resultados incluyeron los siguientes valores para cada factor de la ecuación: el factor K va desde 0,0073 hasta 0,088  $(t/ha/h)^{-1}$ , el valor de R va desde 31,547 a 9,342 MJ/mm (Mega Julius por milímetro) t/ha por año, el factor ronda entre 0 a 0,155, las pendientes el valor es menor al 4,3 % y los productos

de L y S son menores a 0,73 en el 75 % de la superficie. Finalmente, se concluye que existe una pérdida de alrededor de 7 t/ha/año en toda la zona de estudio.

Paco (2022) estimó la potencial erosión hídrica y actual de los suelos de la microcuenca del río Escalerani, alineada a una metodología aplicada, con diseño no experimental. La investigación se realizó en el área de  $-15^{\circ}49'53''$  Latitud S y  $-70^{\circ}02'02''$  Longitud W; además, se analizó la distribución e inmovilización de sedimentos en un periodo de 30 años, los resultados obtenidos indicaron que la erosión potencial es de 257,60 Tn/ha anualmente, y la actual se calculó en 92,59 Tn/ha anualmente. Se concluyó que la investigación puede servir como base para los agricultores que se asientan a lo largo de la microcuenca del río temporal Escalerani, permitiendo implementar mejores políticas y estrategias de conservación.

Escobar & Soto (2021) determinaron el grado de erosión hídrica mediante el modelo USLE en la subcuenca Vilca, utilizando el SIG en Huancavelica, con una metodología aplicada y diseño no experimental. Se determinaron los 5 factores del modelo USLE, Factor R o de erosión por precipitaciones, factor K que mide la erodabilidad, factor LS factor de relieve, factor C o de cobertura vegetativa y factor P o factor de medidas de conservación, utilizando la información obtenida del programa ArcGIS 10.1. En conclusión, el grado de erosión hídrica de la subcuenca es ligera en un 84.32% que equivale a poco menos de 15mil ha, el 11,93% (moderado) que equivale a 21 mil ha.

Delgado (2020) estimó la erosión hídrica en el río Chillón, empleando el modelo matemático USLE, y empleando herramientas SIG, con la finalidad de entender la conducta geoespacial de este suceso. Para ello, se estableció la data con información pluviométrica de 14 estaciones meteorológicas, datos extraídos de fuentes secundarias, la interpretación de imágenes satelitales, mapeo IGN e información georreferenciada recopilada a través del trabajo de campo.

Como resultados se obtuvo que las tasas estimadas de pérdida de suelo fueron de 291,4 t/ha/año en laderas moderadas a muy pronunciadas en la cuenca media y superior. Se concluye que la erosión está relacionada con las actividades agrícolas y ganaderas en sitios con pendientes pronunciadas (más del 50%), registrándose fuertes precipitaciones en diciembre hasta abril.

Quiñonez (2019) en su tesis de grado, determinó las zonas con exposición a la erosión en la cuenca del río Rímac y estimó la tasa anual de sedimentos con el modelo USLE, sigue una investigación de tipo descriptiva, con diseño no experimental. Se determinó los factores de erosividad o factor R de 417,24 a 1876,8 MJ/mm/ha anuales, el factor K con 60 % de suelo a 0,0443 y un 40 % entre suelo franco arenoso y arcilloso con factor de 0,0327, el factor de relieve y pendiente o factor LS muestra valores entre 0,0691 y 627 a lo largo de la cuenca, el factor de cobertura vegetativa indicó que el 71% de la superficie es rocosa, con baja cobertura de vegetales y el factor P se estimó en 1 ya que no se aplican medidas de conservación. Se concluyó que la tasa es de 523 ton/ha/año.

Atauje & Chuchón (2018) estimaron la erosión hídrica de la cuenca Huatatas aplicando la ecuación USLE, alineada a una metodología descriptiva, con diseño no experimental. Las estimaciones de los factores de la ecuación para erosión arrojaron los resultados siguientes: la zona de estudio indica que el 8,23 % presenta pendientes entre 0 a 4 %, con un 6,7 % de territorio plano y de 4 % a 8 % se hallan terrenos ligeramente inclinados, las precipitaciones en la zona son de 782 a 810 mm que representa el 15,9 %, el factor R se calculó el rango más alto que es de 527 – 563 mm/ha (mililitros por hectárea) al año que pertenece a la zona alta, indicando que existe un riesgo mayor de erosión. Se concluyó que el grado de erosión es 15 a 125 Tn/ha anuales, lo que indica que no es una cuenca con erosión alta. Además, se propuso como solución el trazo de zanjas de infiltración.

Puerta & Veneros (2018) estimaron la erosión hídrica a través del modelo universal para erosión de suelos, con una metodología de investigación de tipo aplicada. Los resultados obtenidos indicaron que, para el factor R el valor mínimo fue de 3465,7 MJ/mm/ha anuales y el máximo es de 7669,24 MJ/mm/ha anuales; para el factor K varía entre 0,011 MJ/mm/ha hasta 0,038 MJ/mm/h a en terreno de arena; para el factor topográfico LS, indicó que existen áreas con inclinación que van de cero hasta un 20 %, y un 88 % del terreno revela una pendiente que va de 1 a 10 %; para el factor de cobertura se determinó en 0,002 y el factor P se estimó en 1, ya que no implementan prácticas de conservación, la tasa de erosión hídrica se calculó en 8,891 t/ha/año que se consideró una erosión ligera. Se concluyó que en la subcuenca Chinata se hallaron 5 niveles de pérdidas de suelo, con un valor máximo de 5,41 % del área de la subcuenca.

## **2.2. Bases teóricas - científicas**

### **2.2.1. Erosión hídrica del suelo**

La erosión del suelo se refiere al proceso de desplazamiento y remoción de partículas de tierra de un lugar a otro, principalmente inducido por la acción del agua, el viento y las prácticas humanas, especialmente aquellas relacionadas con la actividad agrícola, que a menudo implican las alteraciones de la cubierta vegetal. Este fenómeno provoca una disminución progresiva de la profundidad del suelo, lo que resulta en la pérdida de la capa arable, fundamental para la actividad productiva dado que la pérdida de suelo es irreversible, la erosión se presenta como uno de los problemas más críticos en las regiones altoandinas del país, generando impactos negativos tanto en la productividad agrícola como en la economía local (MINAGRI, 2017).

El agua ha damnificado notablemente a que el suelo empeore con la erosión. Los impactos generados de este problema son ocasionados in situ y también, a sus alrededores que se conoce como erosión difusa. Por lo tanto, las consecuencias in situ son especialmente de suma importancia

en las tierras de empleo agrícolas, en donde la pérdida y degradación de la estructura terrestre, el arrastre conduce a la disminución y a la pérdida de fertilidad, asimismo altera la humedad del suelo aprovechable incentivando la aridez (Duniway *et al.*, 2019).

Los contaminantes nutritivos no puntuales, los metales pesados y los productos químicos también se transportan con las partículas del suelo, lo que provoca niveles más altos de sedimentos que eventualmente conducen a la eutrofización del agua y a la alteración de entornos similares, asimismo la erosión severa del suelo que conduce a la exportación excesiva de sedimentos a las aguas o embalses da como resultado alteraciones de la vida en los cuerpos de agua, así como una reducción de la calidad del medio ambiente (Issaka & Ashraf, 2017).

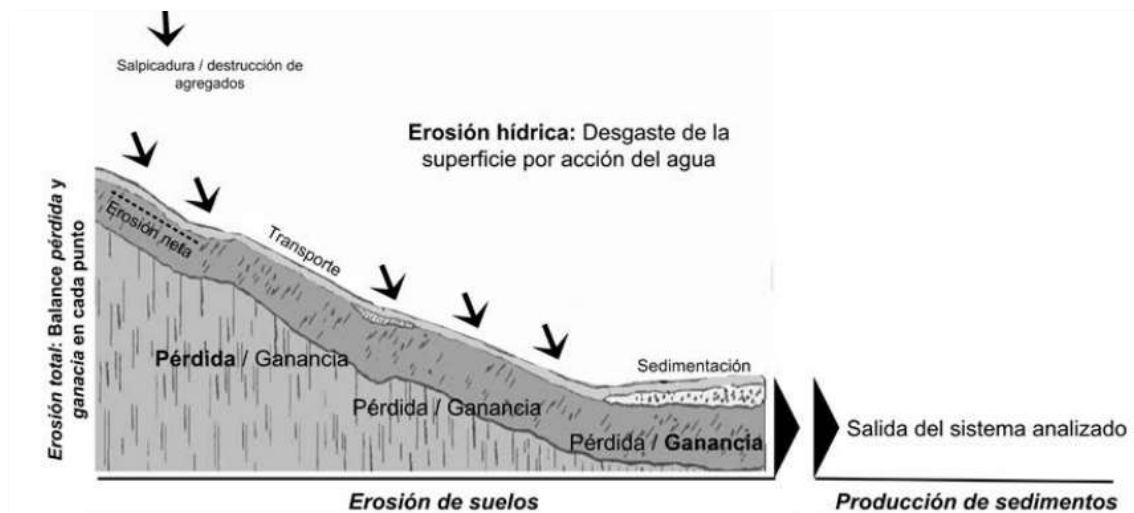
La erosión causada por el agua tiene un impacto considerable en los paisajes agrícolas y naturales, ya que implica la remoción y traslado de partículas del suelo debido a la acción de fuerzas erosivas. Este fenómeno genera una pérdida acelerada de la capa superficial del suelo, lo cual puede reducir su fertilidad y productividad. Además, favorece el arrastre de nutrientes hacia cuerpos de agua, lo que contribuye a su contaminación con exceso de nutrientes, agentes patógenos y compuestos tóxicos, afectando negativamente la calidad del agua y el equilibrio de los ecosistemas acuáticos. (Lee *et al.*, 2021).

### **2.2.2. Proceso de erosión**

La erosión es un proceso natural, donde la energía proporcionada por el agua, el viento y la gravedad impulsa la separación, la distribución y la deposición de los fragmentos del suelo. El desprendimiento o separación ocurre cuando las fuerzas que mantienen una partícula de suelo en su lugar son superadas por el ímpetu de las gotas de lluvia, el agua en movimiento o el viento. Esto ocasiona que primero, deforme los agregados (es decir, agregados de partículas de suelo), para luego separar las partículas de suelo de la superficie (Holz *et al.*, 2017).

**Figura 1**

*Esquema de procesos de erosión*

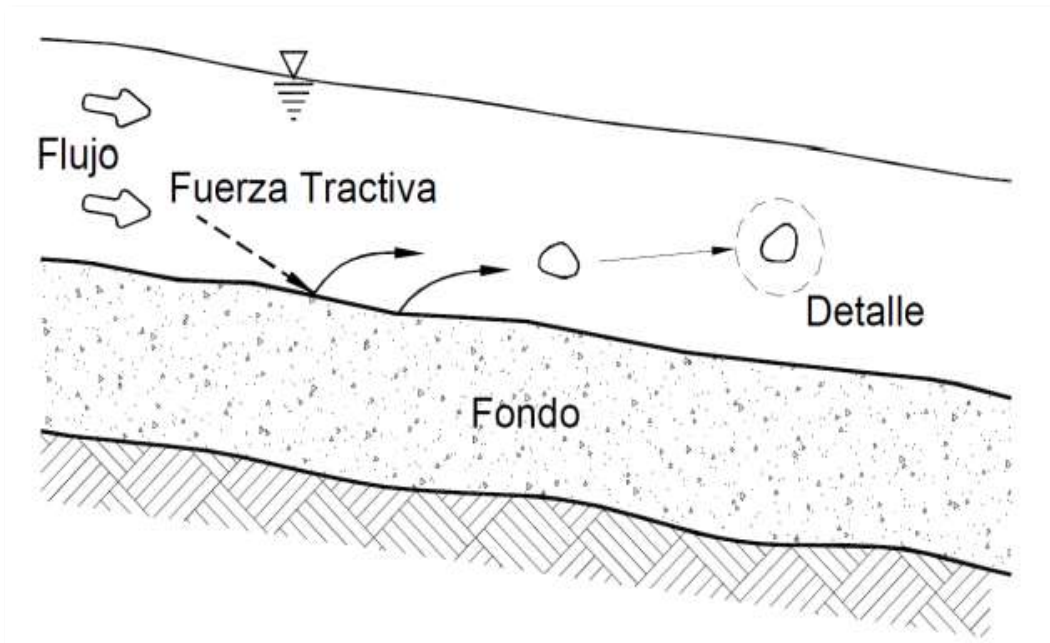


*Nota:* Tomado de *escurrimiento, erosión del suelo y contaminación de los recursos hídricos superficiales por sedimentos* (p. 6) por Celio Ignacio Chagas, 2018, Facultad de Agronomía.

La energía restante activa el segundo paso del proceso de erosión, el transporte de partículas, luego cuando la carga de sedimentos del agua en movimiento es mayor que su capacidad de transporte, se produce la deposición que es más vulnerable al desprendimiento y transporte que el suelo residual, porque las fuerzas de unión originales se han roto. Sin embargo, una capa de suelo suelto depositado recientemente puede ayudar a prevenir el desprendimiento del suelo subyacente. Las partículas de suelo individuales pueden desprenderse, transportarse y depositarse varias veces durante un solo evento de tormenta (Holz *et al.*, 2017).

**Figura 2**

*Esquema de arrastre de partículas*



*Nota:* Tomado de “erosión superficial hídrica en capas de revestimiento en vías terciarias” (p. 20) por Paula Ruiz Montenegro, 2019.

Si no hay dispersión y transporte de partículas de suelo, no habrá deposición; por lo tanto, la separación y la distribución de los fragmentos del suelo son esenciales en la erosión del suelo (Kumawat et al., 2020), este fenómeno puede presentarse en distintos entornos, como riachuelos, zonas intermedias entre ellos, acantilados, barrancos temporales, cauces de arroyos, áreas forestales y sitios en construcción. En este contexto, la erosión del suelo está fuertemente influenciada por factores como las características de la lluvia, las propiedades del suelo, la topografía, el clima y el tipo de uso que se le da a la tierra (Kavka *et al.*, 2021).

### **2.2.3. Erosión hídrica potencial y real**

La erosión hídrica potencial se refiere al proceso de erosión que puede ocurrir en una ubicación determinada, influenciada por factores naturales como el clima, el tipo de suelo y el

relieve, sin tener en cuenta la intervención humana ni la cobertura vegetal. Este concepto permite evaluar la susceptibilidad del suelo desnudo a la erosión, lo que resulta fundamental para identificar áreas vulnerables y establecer medidas preventivas para reducir la pérdida de suelo.

La erosión hídrica real incluye la influencia de la cobertura vegetal y las prácticas de manejo del suelo, así como las medidas de conservación adoptadas. La combinación de estos factores es esencial para valorar si las estrategias implementadas en la investigación son efectivas y si la metodología aplicada en el estudio es adecuada para abordar de manera precisa la erosión hídrica en el área de estudio.

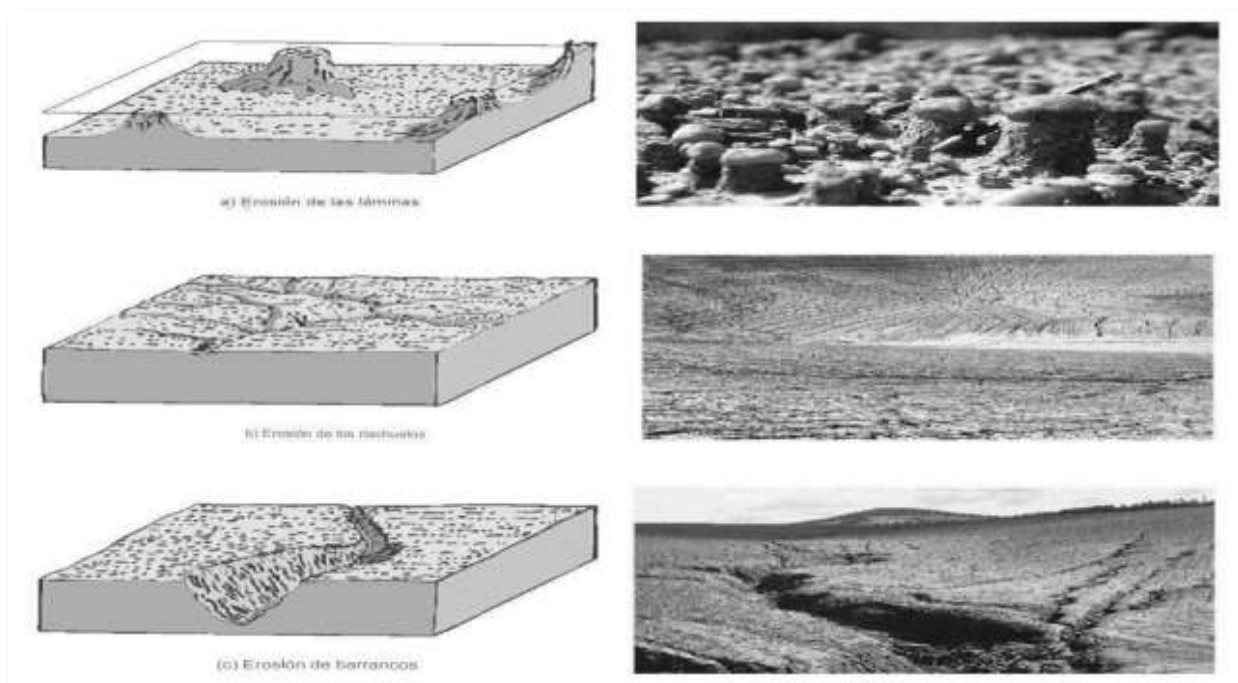
Según Rengifo et al., (2022) menciona que, el límite de erosión aceptable se considera dentro del rango de 10 a 12 toneladas por hectárea por año (Tn/ha/año). Sin embargo, en zonas húmedas, se considera que esta cifra puede incrementarse hasta los 25 Tn/ha/año debido a las características particulares de estos ecosistemas. Superados estos valores, la conservación del suelo no puede garantizarse, ya que la tasa de destrucción del suelo excede a la de su formación, lo que compromete la sostenibilidad de los recursos edáficos a largo plazo.

#### **2.2.4. Tipos de erosión hídrica**

Se aprecian cuatro categorías tales como por salpicadura, laminar, por surcos y en cárcavas. Éstas están incididas por múltiples singularidades que presentan los suelos tales como el porcentaje de materia orgánica que presentan, su textura y estructura, por otro lado, también están influidas por la pendiente y las condiciones climáticas (Grigar et al., 2020).

### Figura 3

#### Tipos de erosión hídrica



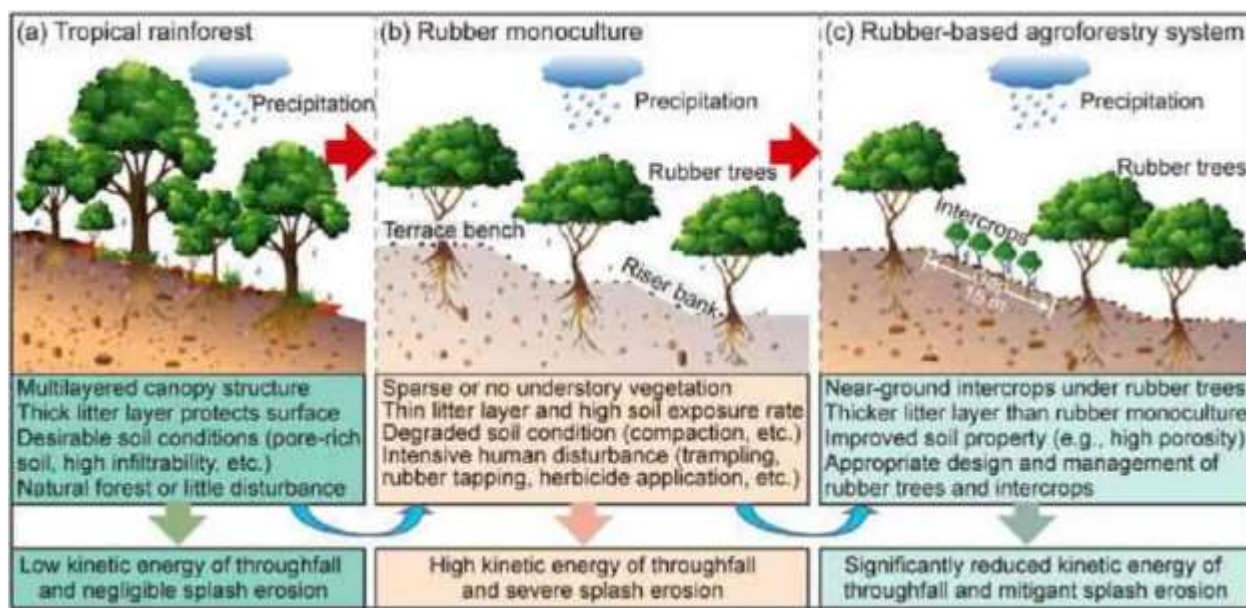
Nota: (a) Erosión laminar (b) erosión de surcos (c) Erosión en cárcavas. Tomado de “conservación de suelo y agua” (p. 270) por Safdar Bashir & Ishard Bidi, 2017.

#### Erosión por salpicadura

Fue la primera en aparecer; se trata del choque que se genera entre las gotas de lluvia y el suelo haciendo que se rompan los agregados del suelo, dispersan y salpican las partículas del suelo desde su origen (Kumawat *et al.*, 2020). Esta colisión compacta la superficie y seguidamente rompen los agregados separándoles como partículas, permitiendo que éstas estén preparadas con el fin de ser desplazadas por el agua y simultáneamente que sellen la superficie disminuyendo la infiltración y causando más circulación (Luo *et al.*, 2018).

**Figura 4**

*Erosión por salpicadura*



*Nota:* Desprendimiento, transporte y deposición. Adaptado de control de la erosión por salpicadura del suelo puede beneficiar el desarrollo sostenible [Fotografía], por Publiagro, 2022, (<https://publiagro.com.bo/2022/08/control-de-erosion-salpicadura-beneficiar/>).

La erosión por salpicadura es el inicio y determina a las demás erosiones, y su incidencia podría ser muy enorme, debido a que destruye la primordial defensa que tiene la superficie terrestre frente a la erosión, debido a que puede desplazar partículas del suelo a una altura de hasta 1,5 m verticalmente, y puede alcanzar distancias horizontales de > 5 mm con la ayuda del viento (Fernández Raga *et al.*, 2017). De esta manera, el nivel de impacto depende de la cobertura vegetal natural o la que otorgan los cultivos, esta cobertura vegetal neutraliza la potencia de las gotas de lluvia y altera su tamaño (Jiménez, 2021).

## **Erosión laminar**

Es la siguiente fase de la erosión por salpicadura, que rápidamente inicia la erosión laminar, la cual representa el removimiento de la lámina o capa delgada y uniforme del suelo, originada por el ímpetu de las gotas de lluvia, esta erosión aumenta en suelos sin vegetación con pendientes altas, por lo que generalmente del total de la erosión del suelo en el mundo, casi el 70% es causado únicamente por la erosión laminar y por salpicadura (Kumawat *et al.*, 2020).

Cherlinka (2024) menciona que la erosión laminar constituye una de las formas de erosión más perjudiciales para la agricultura, ya que conduce a la degradación y pérdida del primer horizonte del suelo, lo cual compromete la fertilidad y la capacidad productiva del terreno, en esta forma de la erosión también tiene un impacto considerable en la producción de sedimentos en los cuerpos de agua, especialmente en los ríos. Reyes Palomino & Cano Ccoa (2022) el proceso comienza cuando las gotas de lluvia impactan la superficie del suelo, lo que provoca la separación de las partículas de este, al quedar sueltas, son transportadas por la escorrentía superficial y, al ser arrastradas, forman una capa fina y poco permeable. Cuando la cantidad de recepción supera la tasa de infiltración del suelo, el agua comienza a desplazarse por la superficie, generando escorrentía que arrastra las partículas del suelo previamente desprendidas, exacerbando el proceso de erosión (Atauje, 2018).

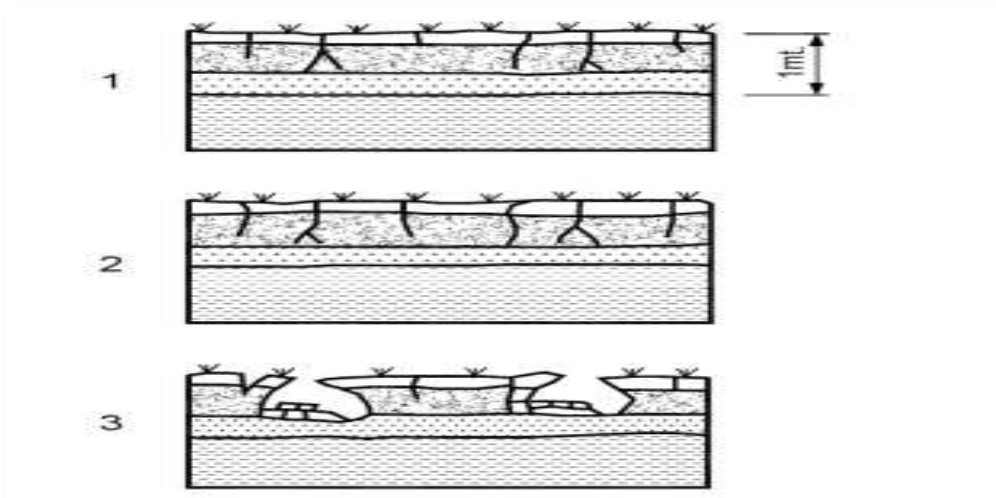
## **Erosión en surcos**

Los suelos destinados a la agricultura, especialmente aquellos con pendientes inferiores al 6%, son altamente susceptibles a la erosión, particularmente en condiciones de alta precipitación. Este fenómeno se intensifica cuando el suelo carece de cobertura vegetal. La formación de surcos se origina cuando el flujo de agua no es uniforme sobre la superficie, concentrándose en corrientes

que, al correr sobre el terreno, provocan pequeñas fisuras. Con el tiempo, estas fisuras se profundizan, acelerando el proceso de erosión. los mecanismos de suspensión, saltación y rodamiento, contribuyendo de manera conjunta al desplazamiento del material erosionado y al deterioro del suelo (Escobar, 2019).

### Figura 5

#### *Erosión en surcos*



*Nota:* (1) fase inicial de erosión en surcos (2) fase intermedia de erosión en surcos (3) fase final de erosión en surcos. Tomado de “Generación de geo información para la gestión del territorio a nivel nacional” (p. 5) por Augusto Gonzales & Julio Moreno, 2015.

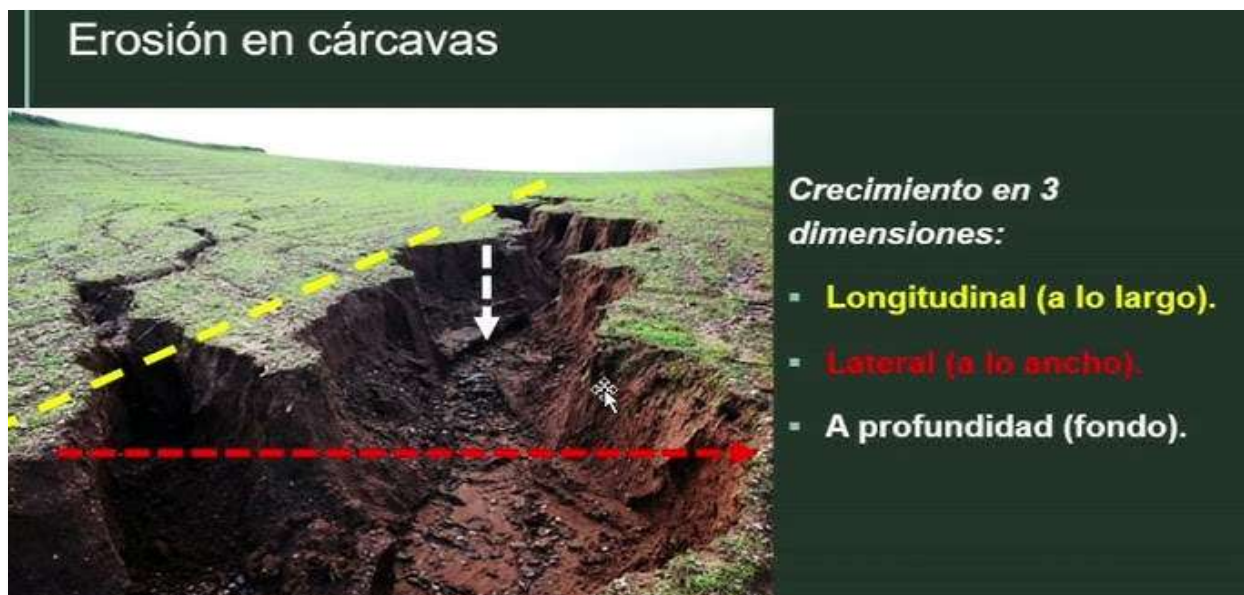
La capacidad erosiva del flujo de agua depende de factores como la velocidad, la profundidad, la turbulencia, así como del tipo y la cantidad de material transportado. La erosión en surcos tiende a aumentar cuando se incrementa la longitud y la pendiente del terreno, lo que provoca un mayor volumen de escorrentía y una mayor velocidad del agua. Por ello, este tipo de erosión puede ser controlado mediante prácticas de labranza adecuadas (Kumawat *et al.*, 2020).

## Erosión en cárcavas

De acuerdo con Quispe (2018), son formados en los canales ocasionados por las corrientes de agua que se adentran en los surcos, que a su vez, forman canales más grandes y provocan este tipo de erosión. De igual modo, los impactos pueden ser generados en los cultivos, caudales, vegetación, condiciones de flujo, entre otros. La extensión en constante aumento de las cárcavas es provocada en cabeceras y en falta de vegetación. Se origina mayormente después de los dos tipos anteriores de erosión, generando aberturas en el suelo de más de 50 cm y nos posibles remediar con prácticas de rutina con arado.

### Figura 6

*Erosión en cárcavas*



*Nota:* Adaptado de cómo prevenir la erosión del suelo en la agricultura [Fotografía], por Providencia de Amaechi, 2023, Ambiente (<https://es.environmentgo.com/c%C3%B3mo-prevenir-la-erosi%C3%B3n-del-suelo-en-la-agricultura/>).

### 2.2.5. Factores que producen la erosión hídrica

Son la cobertura vegetal, topografía y las propiedades fisicoquímicas del suelo, de los cuales se obtiene un producto de estos factores que determina la magnitud y la tasa de erosión del suelo; por lo tanto, mientras más inclinada es la pendiente, sufrirá mayores consecuencias; asimismo, si es mayor la capacidad de transporte del escurrimiento superficial en las precipitaciones el resultado será una tasa mayor de pérdida de suelo (Camargo et al., 2017).

Estos factores son estudiados por el Método USLE, creada por Wischmeier y Smith en el 1962; sin embargo, hasta los inicios de la década de los 70, se empezó a utilizar para muchos estudios del uso del suelo, particularmente en áreas de cultivo y en los planes de conservación de suelos; por otro lado, fue muy aplicada en analizar las tasas de erosiones a niveles de territorios extensos como, cuencas o microcuencas hidrográficas. Por lo tanto, se ha convertido en la más empleada y aceptada entre las personas que están a cargo de trabajar con cuencas hidrográficas con fines de producción o conservación (López et al., 2019).

#### Figura 7

Modelo gráfico de erosión USLE



*Nota:* Tomado de “efecto de los incendios forestales sobre la pérdida de suelo superficial por erosión hídrica” (p. 35), por Julian Rodriguez Soilla, 2020, Researchgate.

De esta manera, los seis factores de entrada del modelo USLE son la precipitación y la erosividad de la escorrentía (factor R), consideran la cantidad y la intensidad de la precipitación; la erosionabilidad (factor K), está relacionada con los factores cruciales del suelo que típicamente se calcula en base a los contenidos de arena, limo, arcilla y carbono orgánico. Asimismo, se incluye el factor topográfico (LS), relacionado con pendientes y longitud entre rangos de pendiente; el factor de gestión de la cobertura (factor C) da cuenta de los efectos de la cobertura de la tierra y el factor de práctica de apoyo (factor P) da cuenta de los efectos del control prácticas sobre la disminución de la erosión del suelo (Xiong *et al.*, 2019).

*Modelo matemático USLE*

$$E = R * K * LS * C * P$$

*Nota: Tomado de Camacho & Gomez (2018).*

El factor P rara vez se considera para grandes áreas; asimismo, los factores R, K y C están todos relacionados con el clima, pero los modelos basados en USLE no consideran los impactos del clima en la erosionabilidad del suelo.

### **Factor R**

Este factor nos indica la erosión pluvial y reúne la repercusión que ésta genera en la energía de movimiento de las lluvias, separando fragmentos del suelo y comprimiendo la superficie, estableciendo la aparición de escorrentía cuando es superada la capacidad de infiltración. En este sentido, las precipitaciones son las que más ocasionan este problema y también, las peculiaridades de la lluvia, como lo son la intensidad (volumen/tiempo), perdurabilidad y tipo de gotas.

En cuanto a la intensidad, existen las que se estancan en el suelo; puesto que, se introdujeron sin dificultades (llamadas intensidad baja); mientras que, las de otro tipo no se estancan, sino se rebasan la infiltración y la superficie del suelo se llena de agua, lo que generaría la erosión (llamadas intensidad alta); por tanto, si la lluvia dura bastante, la erosión se forma de manera rápida y según el tamaño de las gotas, la extensión de la erosión. De esta manera, el factor se calcula a partir de la siguiente ecuación, donde la sumatoria de los valores de EI de los meses anualmente se define como el factor R.

*Fórmula del factor lluvia*

$$EI30 = EC \times I30$$

Donde:

**EI30** = Índice de erosividad

**EC** = Energía cinética total de la lluvia

**I30** = máxima intensidad en 30 minutos de lluvia

Suarez Aguilar et al., (2020) menciona que La multiplicación de ambas variables se denomina índice de erosividad, el cual refleja el potencial erosivo generado por la caída de las gotas de lluvia y la velocidad máxima con la que impactan sobre la superficie del suelo.

Otro método de cálculo para determinar el factor R es el propuesto por Morgan en el año 1974, esto es usado con precipitaciones altas.

*Ecuación de la determinación de la erosividad R*

$$R = I30 * \frac{9.28P - 8.393}{1000}$$

*Nota: Tomado de Morgan (1974).*

Donde:

**I30** = 75 mm/h (valor recomendado por Wischmeier)

**P** = precipitación media anual

### **Factor K**

Este factor refleja la susceptibilidad del suelo a experimentar pérdida de suelos por erosión; por lo tanto, la función de la característica del suelo como pedregosidad, estructura, textura, estabilidad de sus agregados son de suma importancia, donde en un año la medición directa en la zona de estudio de las pérdidas provocadas por las lluvias en las circunstancias regulares determinadas en las parcelas USLE, donde, el valor del factor K va dese 0 a 1; por lo tanto, el valor 0 nos demuestra que hay una menor susceptibilidad a la erosión de suelo (Pérez *et al.*, 2019).

**Textura:** El análisis de la textura del suelo nos proporciona los porcentajes de arena, limo, arcilla del suelo.

**Materia Orgánica:** La materia orgánica se da en su porcentaje proporcional en el suelo, lo cual es necesario realizar un análisis de muestras extraídas en campo.

**Estructura del suelo:** Su valor se determina a través de la observación y el tacto, utilizando un manual de referencia para su comparación. Según lo establecido por el modelo USLE, existen únicamente cuatro categorías y códigos definidos para este propósito.

**Permeabilidad del suelo:** Para calcular la permeabilidad se realiza con diferentes valores o códigos según la velocidad de infiltración de los tipos de suelos. Estos códigos son asignados por la USLE

**Tabla 1***Códigos USLE de permeabilidad de suelos*

Códigos USLE	Tipo de estructura
1	Granular muy fina
2	Granular fina
3	Granular media gruesa
4	Bloques

En el Sistema Internacional de Unidades, el factor K se expresa como T/ha/MJ·mm/ha·h, lo cual representa la capacidad del suelo para resistir la erosión en función de la energía proporcionada por la lluvia sobre una determinada área y periodo de tiempo..

**Método de la Ecuación**

Una vez realizado el análisis completo de la textura de las muestras y establecidos los códigos correspondientes a la estructura y la permeabilidad, se continúa con la aplicación de la siguiente ecuación de Sharpley y Williams en el año 1990, lo cual es la siguiente formula.

*Ecuación de la erodabilidad del suelo*

$$K = A * B * C * D * 0.1317$$

$$A = \left\{ 0.2 + 0.3e^{\left(-0.0256 * ARENA * \left(1 - \frac{LIMO}{100}\right)\right)} \right\}$$

$$B = \left[ \frac{LIMO}{ARCILLA + LIMO} \right]^{0.3}$$

$$C = \left[ 1 - \frac{0.25 * CARB.ORG}{CARB.ORG + e^{(3.72 - 2.95 * CARB.ORG)}} \right]$$

$$D = \left[ 1 - \frac{0.75 * \left(1 - \frac{ARENA}{100}\right)}{\left(1 - \frac{ARENA}{100}\right) + e^{\left(-5.51 + 22.9 * \left(1 - \frac{ARENA}{100}\right)\right)}} \right]$$

**Fuente:** Tomado de Sharpley y Williams (1990).

Donde:

**A:** Este factor atenúa el valor del indicador K en suelos con alto porcentaje de arena y lo incrementa en aquellos con menor contenido arenoso.

**B:** Este factor otorga valores reducidos de erosión del suelo en aquellos con elevadas proporciones de arcilla y limo.

**C:** Este factor disminuye los valores de K en suelos que presentan un alto contenido de carbono orgánico.

**D:** Este factor reduce los valores de K en suelos con un porcentaje muy elevado de arena.

### **Factor LS**

El factor LS une dos distintos parámetros que son la longitud de pendiente (L) y el ángulo de inclinación (S), donde primero no tiene dimensiones porque está definido por la tasa de erosión de un año de un superficie con una L establecida (Sabino *et al.*, 2017). Para ello, se debe tener en cuenta el segundo parámetro, puesto que a mayor inclinación mayor erosión; debido a la escorrentía mediante el incremento de la circulación del agua superficial (García, 2021).

En este factor es primordial observar el primer parámetro; debido a que esto depende del nivel de suelo por tanto la erosión será diversa. Por ello, se encuentra determinado como la relación entre la tasa de erosión con la pendiente, en base a ello el factor se calcula así:

Ecuación del factor topográfico

$$LS = 1.07 \left( \frac{\lambda}{20} \right)^{0.28} \left( \frac{\alpha}{10^2} \right)^{1.45}$$

*Nota: Tomado de Camacho & Gomez (2018).*

Donde:

L= Factor de longitud de la pendiente

S = Factor de inclinación de la pendiente

$\lambda$  = Longitud de la pendiente en una proyección horizontal

$\alpha$  = Es el ángulo de inclinación en grados

Otra forma de cálculo del factor LS es de la siguiente manera:

Utilizando GIS nos permite el cálculo del factor L y para el factor S son las siguientes formulas:

*Ecuación del factor L*

$$m = \left( \frac{k}{k + 1} \right)$$

$$k = \frac{\left( \frac{\text{sen}\theta}{\text{sen}5.143^\circ} \right)}{3\text{sen}^{0.8}\theta + 0.56}$$

$$L = \frac{[(A + D^2)^{m+1} - A^{m+1}]}{[(x^m D^{m+2} (22.13)^m)]}$$

**Nota:** Tomado de (Desmet & Groger (1996), citado por Giménez Suarez (2008)).

Donde:

m = Se define como una función continua

k = Es la relación de erosión de surcos a erosión entre surcos

$\theta$  = Es la pendiente en grados

A = Es la longitud de la pendiente en proyección horizontal

D = Es el tamaño del píxel

$x$  = Es el coeficiente de forma ( $x = 1$  cuando se usa RASTER)

*Ecuación del factor S*

$$S = 10.8 * \text{sen}\theta + 0.03 \text{ Si } s < 9\%$$

$$S = 16.8 * \text{sen}\theta - 0.5 \text{ Si } s \geq 9\%$$

*Nota: Tomado de McCool (1987).*

Donde:

$\theta$  = Es la pendiente en grados

Una vez obtenida esos dos valores se calcula el factor LS con la multiplicación ambos factores en el software GIS.

### **Factor C**

El elemento natural de la cubierta vegetal actúa como barrera para proteger al suelo de la fuerza erosiva de las gotas de lluvia, regulando dos factores que erosionan el suelo que son, las gotas de lluvia que caen al suelo y la velocidad de la escorrentía superficial. Wischmeier y Smith plantearon en su metodología valores que van desde el 0 y 1. El valor de este parámetro va a depender del grado y tipo de vegetación (Perales, 2019).

Las hojas son las primeras que reciben el impacto, asimilan la energía producida y luego dejan caer con menos energía las gotas en el suelo, otro beneficio de la vegetación es la materia orgánica que proporciona un fuerte poder de agregante en las partículas de suelo ayudando al suelo con estructuras muy desarrolladas y muy estables (García, 2021).

La función de la vegetación es muy importante para la prevención de este problema, ya que aumenta el aguante cuando tiene más porcentaje de materia orgánica estabiliza en su estructura y promueve el desarrollo de macro y microorganismos; asimismo, la eficacia de la cobertura vegetal está ligada al tipo de especie de plantas, a su densidad, edad y tipo de raíz de la planta (Huerta *et al.*, 2018).

Para la determinación del cálculo del factor C se utilizó la clasificación de uso de suelos mediante la utilización de una imagen de satélite LANDSAT 9 OLI y con el proceso de teledetección se aplicó la clasificación supervisada, y utilizando la clasificación del método CORINE LAND COVER se puede obtener los valores del factor C. El método CORINE LAND COVER sirve para la construcción de mapas de cobertura vegetal y de uso de la tierra de las imágenes de satélite tipo LANDSAT. Esta fue desarrollada en Europa y actualmente es aplicada y adaptada en muchos países. CORINE LAND COVER emplea una leyenda jerárquica que vincula distintos niveles de detalle con distintos niveles de detalle temático (MINAM, 2012).

**Tabla 2**

*Valores del factor C según la metodología CORINE LAND COVER adaptada para Perú*

Código Del Uso De La Tierra	Descripción	Factor C
141	Zonas urbanas verde	0.005
142	Instalaciones deportivas y de ocio	0.005
211	Tierras arrancables de no riego	0.45
221	Viñedos	0.1
223	Olivares	0.1
231	Pastos	0.02
241	Cultivos anuales asociados a cultivos permanentes	0.12
242	Patrones de cultivos complejos	0.12
243		0.12

Terreno ocupado principalmente de agricultura con superficies significativas de vegetación natural		
311	Bosque amplio – Hojizado	0.004
312	Bosque de coníferas	0.004
313	Bosque mixto	0.004
321	Pastizales naturales	0.05
322	Paramos y brezales	0.05
324	Matorrales boscosos de transición	0.007
331	Playas, dunas, llanuras de arena	0.3
332	Solo roca	1
333	Zonas con escasa vegetación	0.3
334	Áreas quemadas	0.3

Nota. Fuente: Ministerio del ambiente (MINAM)

**Tabla 3**

*Estructura de la leyenda CORINE LAND COVER adaptada para Perú*

NIVEL 1	NIVEL 2	NIVEL 3	CODIGO	RGB
Superficies artificiales	Zonas urbanas	Tejido urbano continuo	111	230-000-077
		Tejido urbano discontinuo	112	255-000-000
	Zonas industriales, comerciales y de transporte	Zonas industriales o comerciales	121	204-077-242
		Redes viañias, ferroviarias y terrenos asociados	122	204-000-000
		Zonas portuarias	123	230-204-204
		Aeropuertos	124	230-204-230
	Zonas de extracción minera, vertederos y de construcción	Zonas de extracción minera	131	166-000-204
		Escombros y vertederos	132	166-077-000
	Zonas verdes artificiales, no agrícolas	Zonas verdes urbanas	141	255-166-255
		Instalaciones deportivas y recreativas	142	255-230-255
Zona agrícolas	Tierras de labor	Tierras de labor en secano	211	255-255-166
		Terrenos regados permanentemente	212	255-255-000
		Arozales	213	230-230-000
	Cultivos permanentes	Vinedos	221	230-128-000
		Frutales	222	242-166-077
		Oliveras	223	230-166-000
	Prados y praderas	Prados y praderas	231	230-230-077
		Cultivos anuales asociados con cultivos permanentes	241	255-230-166
	Zonas agrícolas heterogéneas	Mosaico de cultivos	242	255-230-077
		Terrenos principalmente agrícolas, pero con importantes espacios de vegetación natural y semi-natural	243	230-204-077
Zonas forestales con vegetación natural y espacios abiertos	Bosques	Sistemas agroforestales	244	242-204-166
		Bosques de frondosas	311	128-255-000
		Bosques de coníferas	312	000-166-000
	Espacios de vegetación arbustiva y o herbácea	Bosque mado	313	077-255-000
		Pastizales naturales	321	204-242-077
		Lindas y matorrales mesófilos	322	166-255-128
		Matorrales esclerófilos	323	166-230-077
		Matorral o bosque de transición	324	166-242-000
	Espacios abiertos con poca o sin vegetación	Playas, dunas y arenales	331	230-230-130
		Requerido	332	204-204-204
Espacios con vegetación escasa		333	204-255-204	
Zonas quemadas		334	000-000-000	
Glaciáras y rievos permanentes	335	166-230-204		

Zonas húmedas	Zonas húmedas continentales	Humedales y zonas pantanosas	411	166-166-255
		Turberas y prados turbosos	412	077-077-255
	Zonas húmedas litorales	Marismas	421	206-206-255
		Salinas	422	230-230-255
		Zonas llanas intermareales	423	166-166-255
Superficies de agua	Aguas continentales	Cursos de agua	511	000-204-242
		Láminas de agua	512	128-242-230
	Aguas marinas	Lagunas costeras	521	000-255-366
		Estuarios	522	166-255-230
		Mares y océanos	523	230-242-255

*Nota.* Fuente: Ministerio del Ambiente (MINAM)

### Factor P

Indica la concordancia entre la pérdida de suelo que se produce bajo determinadas medidas de protección del suelo y la que se produce en la misma zona sin ninguna medida de protección, este parámetro toma un valor entre 0 y 1. Estos términos incluyen: curvas de nivel, cultivos en franjas (cultivos alternados de curvas de nivel), acequias de infiltración para proteger pastos y terrazas, etc. El objetivo de las actividades de protección es aminorar la extensión de la pendiente efectiva para la esorrentía (Vargas Diaz et al., 2023)

En la agricultura, la erosión de los suelos depende de diversos factores como la especie, la densidad, las rotaciones de cultivos; por lo tanto, podemos señalar que su utilización es el motivo de la erosión, puesto que los que no han sido aprovechados por el hombre no presentan erosión; por otro lado, las tierras de cultivo tienen altos índices de degradación. La evolución de la degradación del suelo aumenta debido a la presión y aumento de las tierras de cultivo, ante un alto índice de crecimiento poblacional y cada vez hay más necesidad de alimentos demandando mayores áreas para la agricultura. La ejecución de obras hidráulicas como las presas y por otro lado el aumento de la minería sin incorporar el manejo ambiental, aumentan más los suelos erosionables (Quispe, 2018).

### **2.2.6. Efectos de la erosión hídrica**

Las erosiones hídricas junto con los derrumbes laterales contribuyen importantes volúmenes de bloques de suelo, cantos rodados y arena; lo cual, por arrastre y suspensión, entran a la planicie aluvial y se colocan de acuerdo a granulometría y a la medida que la corriente empieza a perder su facultad de desplazamiento (Camargo *et al.*, 2017). Se da in situ y también a sus alrededores.

Las repercusiones de la erosión son las siguientes: la pérdida de suelo reduce la cantidad de materia orgánica y su reducción de estructura, lo que supone la pérdida de fertilidad y de la capacidad de retener agua en el suelo; finalmente, afecta a la seguridad alimentaria y a la cobertura vegetal. Para los campos agrícolas el fenómeno erosión significa pérdida de la capa arable del suelo, esto lleva a disminuir la productividad del suelo y por consiguiente afecta la economía del productor (Issaka & Ashraf, 2017).

Por otro lado, la erosión tiene impactos fuera del lugar en que se ocasiona estos implican riesgo a desbordamientos y aminoramiento de la duración de vida del suelo, asimismo los perjuicios que ocasiona conlleva a pérdidas monetarias, por otro lado, pueden afectar al colmatar diques, canales y esto aumenta los gastos para producir agua potable para la población (Wang *et al.*, 2020).

### **2.2.7. Sistema de Información Geográfica (SIG)**

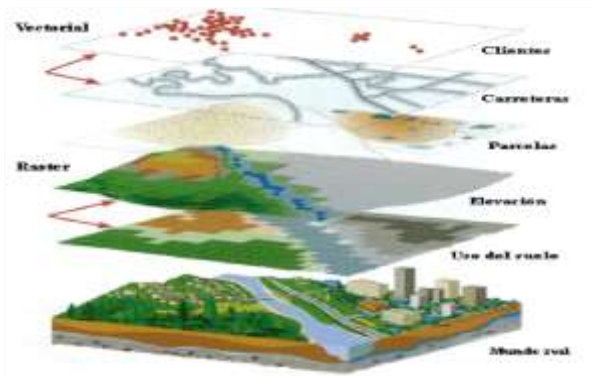
Los Sistemas de Información Geográfica (SIG) representan una de las tecnologías más avanzadas en la gestión y análisis de datos espaciales. Estos sistemas nacen de la necesidad de procesar y comunicar información de manera eficiente y rápida, permitiendo resolver problemas complejos de forma inmediata. Un SIG se entiende como una combinación integrada de datos geoespaciales y herramientas informáticas (software) diseñadas para realizar análisis con objetivos

específicos. Cuando se incorpora el término “geografía” en el contexto de los SIG, se hace referencia a la especificidad espacial de la información, es decir, a la localización precisa de los datos en el espacio. Los SIG permiten llevar a cabo una serie de operaciones fundamentales, como la lectura, almacenamiento, edición y gestión de datos espaciales, lo que incluye tanto consultas simples como la generación de modelos complejos. Además, estos sistemas pueden procesar componentes espaciales, como la posición de los elementos, y componentes temáticos, que representan los valores o atributos asociados a esos elementos. Finalmente, los SIG facilitan la creación de informes, gráficos y mapas, lo que los convierte en herramientas imprescindibles para la visualización y comunicación de información geoespacial, así como para la toma de decisiones informadas en diversos campos de estudio (Vargas *et al.*, 2019).

El SIG está compuesto por un conjunto de tecnologías que incluyen la interfaz de hardware, software, datos, procedimientos y redes, en este argumento, el programa se especializa en el examen espacial mediante el uso de la aritmética en los mapas combinando la topografía con la innovación para graduar, medir y obtener el entorno, mientras que el hardware es aquel que ejecuta software SIG y puede ser desde servidores potentes, teléfonos móviles o una estación de trabajo personal (Falconer *et al.*, 2018).

**Figura 8**

Capas de datos SIG



*Nota:* Adaptado de Proyectos de Sistema de Información Geográfica (SIG), por SH Ingeniería, 2022, (<https://shingenieria.com.ar/servicios/sistema-de-informacion-geografica-sig/>).

Por otro lado, los tipos principales de datos son RASTER y VECTOR, donde el primero alude a las redes ya que almacenan información en líneas y columnas que pueden ser discretas o continuas; por ejemplo, a menudo representamos la cobertura terrestre, los datos de temperatura y las imágenes como datos ráster, mientras que los vectores son puntos, líneas y polígonos con vértices, por ejemplo, las bocas de incendio, los contornos y los límites administrativos suelen ser vectores (Chandra *et al.*, 2021).

### 2.2.8. Modelo de Datos Espaciales en un SIG

#### Modelo espacial en formato Ráster

Este modelo se encuentra dividido en una serie de celdas, éstas tienen un valor que lo identifica del objeto (si en caso lo tuviera) o un valor de variable (si en caso la tuviera). Estos datos se basan en píxeles, tiene el objetivo de representar fenómenos geográficos tradicionales. En cualquier caso, también se pueden utilizar para hablar con tipos de datos menos convencionales

como características demográficas, comportamiento de consumidores y densidad poblacional.

### **Modelo espacial en formato Vectorial**

La estructura en los vectores de datos son una abstracción en el mundo real en donde los datos se posicionan en coordenadas. En el formato vectorial está compuesto por tres unidades básicas de información espacial que son los polígonos, puntos y líneas. Estas unidades básicas se componen por uno más puntos de coordenadas geográficas. Tenemos dos formas para organizar datos en formato vectorial doble estas son base de datos espacial y en datos de materia.

#### **2.2.9. Imagen de satélite o satelital**

Todas las imágenes obtenidas de un satélite esta hechas por matrices, y cada celda de la imagen representa un PÍXEL, la dimensión de cada píxel depende de la determinación espacial del sensor, los cuales reconocen la propagación electromagnética de todas las inclusiones para luego almacenarla en cada píxel según los interludios de longitud de onda donde el sensor se modifica para capturar. La energía electromagnética que atrae al sensor se expresa en un píxel por un valor computarizado que se incluye en una clave, a esto se le suele llamar el nivel computarizado (ND). La suma de niveles computarizados depende de la determinación radiométrica del sensor; por ejemplo, para uno con determinación radiométrica de 8 bits, se extienden desde hasta 255 siendo el valor cero sube a la oscuridad color y el 255 le habla al color blanco.

#### **2.2.10. Interpolación**

Es una estrategia numérica utilizada para prever el valor en un área exacta a partir de los valores de la calidad obtenidos de focos vecinos que se encuentran dentro de la misma localidad. La expectativa de la estima de un rasgo en lugares fuera del lugar asegurado por las observaciones se llama extrapolación. La suma se utiliza para convertir un número limitado de percepciones obtenidas en base a áreas topográficas exactas, a un espacio persistente para que el diseño espacial,

mostrado por las percepciones puntuales, pueda compararse con los diseños espaciales de otros factores.

## **2.3. Marco conceptual**

### **2.3.1. Base de datos**

Se refiere a una serie de datos que son obtenidos de una misma situación, guardados para usarlos después, puede ser una colección de datos construidos en función de una serie que revele las conexiones y limitaciones que hay en el mundo real (Tarrillo, 2020).

### **2.3.2. Conservación de suelos**

La degradación del suelo es una problemática ambiental de alcance global. Por ello, su conservación resulta fundamental para asegurar el equilibrio entre los factores ecológicos, económicos, climáticos e hidrológicos que interactúan en los ecosistemas. El uso sostenible del suelo es clave para preservar estos componentes de manera integrada (Zhang *et al.*, 2022).

### **2.3.3. Desertificación**

Lo llamamos desertificación a la continua degradación de todas las zonas que se consideran áridas, semiáridas, subhúmedas secas, esta degradación es causada por las variaciones climáticas y las actividades antrópicas. La desertificación ocurre a la sobreexplotación, a la vulnerabilidad de los ecosistemas, los usos que lo dan a los suelos, tala, sobrepastoreo, malas prácticas en la agricultura, entre otros.

### **2.3.4. Esguerrimiento**

Ocurre durante y después de la lluvia y se desplaza en su extensión dirigiéndose a los cauces de drenaje. El esguerrimiento significa que existe en la infiltración un incremento de sus

facultades; y éste se puede clasificar en superficial, subsuperficial y subterráneo; según como ocurra.

### **2.3.5. Manejo sostenible del suelo**

Se considera sostenible aquel suelo que puede mantener sus características físicas, químicas y biológicas a lo largo del tiempo, sin experimentar deterioro, lo cual asegura su fertilidad, capacidad de recuperación, estabilidad y productividad de forma continua. En este sentido, analizar la sostenibilidad en el manejo del suelo permite identificar patrones y evaluar si los métodos actuales de uso y manejo contribuyen a su conservación, mejoramiento o, por el contrario, a su degradación. (Duran & Osorio, 2021).

### **2.3.6. Mapa**

Abarca la recopilación de datos analizados y almacenados, la cual ayuda a los procesos donde debe ser tomada una decisión. Estos simbolizan conexiones lógicas de información geográfica en forma de capas de mapa. Sirven para organizar y modelar toda esa data en capas temáticas.

### **2.3.7. Microcuenca**

Es aquella zona donde se escurre la lluvia dirigiéndose a un cauce común. El agua acumulada en la microcuenca se escurre hacia un tributario de mayor extensión o a una laguna. Cuenta con una superficie entre 3 mil a 5 mil ha; sin embargo, pueden existir de menor extensión a la mencionada según las condiciones orográficas.

## **2.4. Hipótesis**

HO: Existe erosión hídrica en la microcuenca Doñana, Chota- Cajamarca.

HA: No existe erosión hídrica en la microcuenca Doñana, Chota- Cajamarca.

## 2.5. Operacionalización de variables

**Tabla 4**

*Operacionalización de variables*

Variables	Definición conceptual	Definición operacional	Dimensión	Indicadores
Variable independiente: Estimación de la erosión hídrica	La erosión hídrica es el proceso en el que las partículas de la capa superficial del suelo son arrastradas por el impacto de las gotas de lluvia y la acción. (Ketema & Dwarakish, 2021).	La estimación de las pérdidas de suelo por erosión hídrica se realizó utilizando el modelo USLE, con el apoyo de ARCGIS y QGIS	Factor R Factor K	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Volumen de precipitaciones</li> <li>• Kg de suelo perdido por unidad de superficie</li> </ul>
Variable Dependiente: Modelo USLE			Factor LS	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Longitud de la cuenca</li> <li>• Grado de la pendiente</li> <li>• Velocidad del flujo del agua</li> </ul>
			Factor C	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Índice de interceptación del cultivo según especie vegetal.</li> </ul>
			Factor P	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Curvas de nivel</li> <li>• Cultivos en franjas</li> <li>• Barreras vivas y muertas</li> <li>• Acequias de infiltración</li> <li>• Terrazas</li> </ul>

## **CAPÍTULO III. METODOLOGÍA**

### **3.1. Tipo y nivel de investigación**

#### **3.1.1. Tipo de investigación**

Esta investigación, según el propósito, es de tipo básico, ya que explora nuevos campos de estudio sin un objetivo práctico e inmediato en el área de investigación y sirve de conocimiento a la investigación aplicada y tecnológica. De acuerdo con el enfoque metodológico corresponde a una investigación cuantitativa, ya que utiliza la recolección y análisis de datos (Hernández-Sampieri y Mendoza, 2018, p. 7).

#### **3.1.2. Nivel de investigación**

Esta investigación tiene un nivel descriptivo o diagnóstico, ya que tiene como objetivo examinar un problema poco estudiado, del cual se tienen muchas dudas o no ha sido abordado previamente (Hernández-Sampieri y Mendoza, 2018, p. 91).

### **3.2. Diseño de la investigación**

El diseño de este estudio no es experimental, dado que no se manipuló la variable independiente, debido a que los fenómenos de interés ya habían ocurrido. El enfoque metodológico se limita a la observación y descripción del comportamiento de la variable independiente y su relación con la variable dependiente en un momento específico en el tiempo, con el fin de interpretar los resultados obtenidos. Este diseño permite el análisis de las variables en su contexto natural, proporcionando una visión precisa de las asociaciones entre ellas sin intervención directa sobre los procesos que las determinan (Hernández-Sampieri y Mendoza, 2018).

### **3.3. Métodos de investigación**

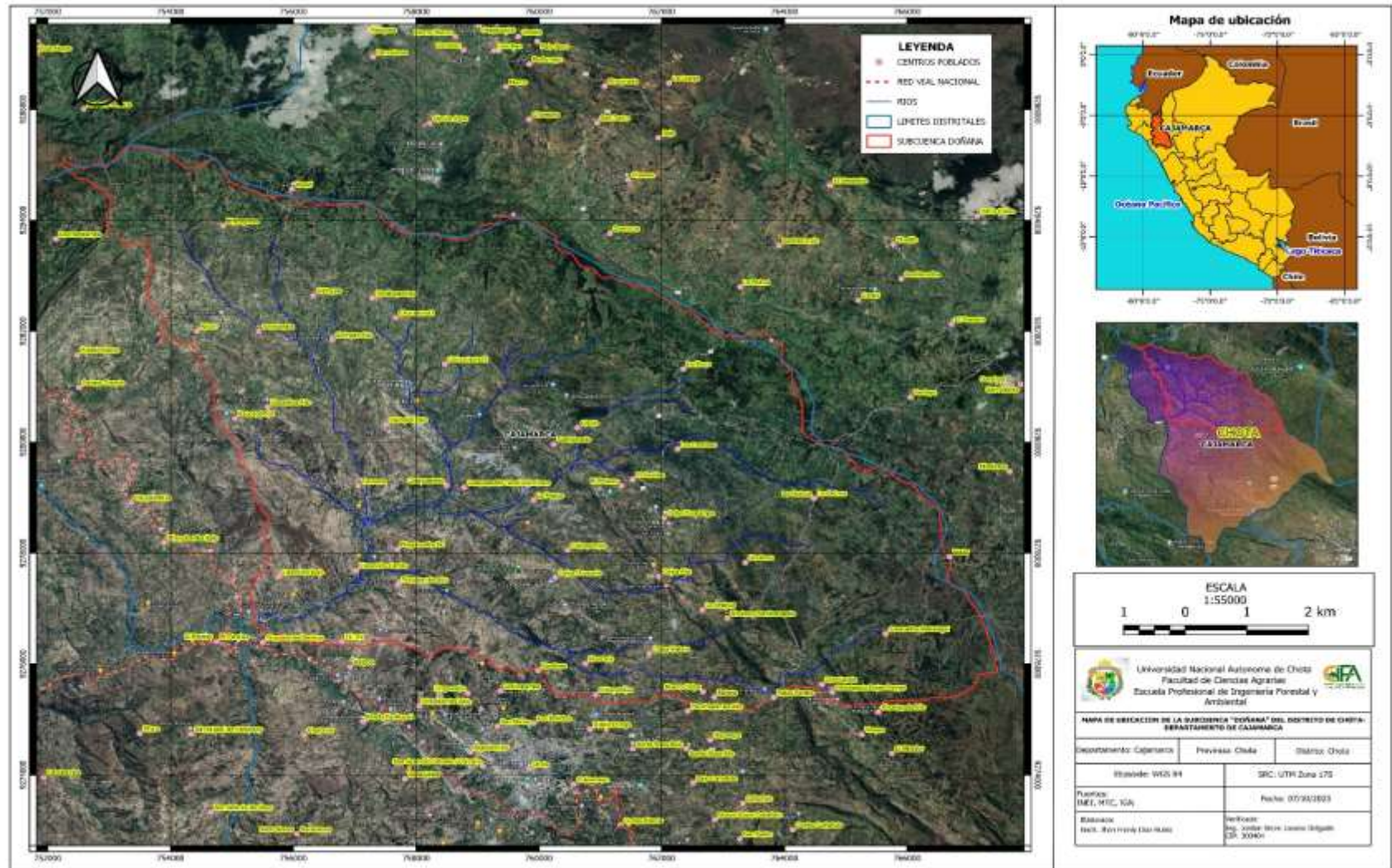
#### **3.3.1. Área de estudio**

La presente investigación se realizó en el distrito de Chota, perteneciente a la provincia homónima, en el departamento de Cajamarca. Su capital está situada en la meseta de Akunta, a una altitud de 2 388 metros sobre el nivel del mar y a aproximadamente 159 kilómetros al norte de la ciudad de Cajamarca. El distrito abarca una extensión territorial de 26 826,83 hectáreas, lo que equivale al 7,13 % del total de la provincia de Chota y al 0,81 % de la superficie del departamento de Cajamarca.

El distrito de Chota, ubicado en la región Cajamarca, tiene como límites territoriales al norte a los distritos de Chiguirip y Conchán; al este, con Conchán y Chalamarca; al oeste, con el distrito de Lajas; y hacia el sur, colinda con los distritos de Bambamarca y Hualgayoc, los cuales forman parte de la provincia de Hualgayoc.

# Mapa 1

Mapa de ubicación de la microcuenca “Doñana”



### 3.3.2. Características del área de estudio

#### Parámetros fisiográficos de la microcuenca “Doñana”

La microcuenca “Doñana” presenta las siguientes características fisiográficas.

**Tabla 5**

*Parámetros fisiográficos de la microcuenca “Doñana”*

<b>Datos de la Microcuenca</b>		
<b>Geometría</b>		
Área	km <sup>2</sup>	83,37
Perímetro	km	46,03
Largo	km	17,77
Ancho	km	9,82
<b>Coordenadas</b>		
Centroide X	m	759941,44
Centroide Y	m	9279657,71
Centroide Z	msnm	2486
<b>Valores de las Cotas</b>		
Cota Mínima	msnm	2211,0
Cota Máxima	msnm	3563
<b>Altitudes de la cuenca</b>		
Altitud Media	Msnm	2486
Altitud más frecuente	Msnm	4750
Altitud de frecuencia (1/2)	Msnm	2718,09
<b>Pendiente de la cuenca</b>		
Pendiente de la cuenca	grados (°)	11,06
<b>Hidrografía</b>		
Longitud del Cauce Principal	Km	5,80
Orden de la red Hídrica	Adimensional	4
Longitud de la red Hídrica	Km	66,86
Pendiente promedio de la red hídrica	grados (°)	5,89

Según la **Tabla 5** describe los parámetros fisiográficos que brindan información básica y necesaria para saber las características de la microcuenca del área de estudio, en este caso el área de la microcuenca es de 83,37 Km<sup>2</sup>, el perímetro de 46,03 Km, ancho de la microcuenca de 9,82

Km, el largo de la microcuenca es de 17,77 km, entre la información importante que podemos rescatar la altitud media de la cuenca 2486 m.s.n.m. el cual nos indica la climatología de la zona.

### **Parámetros geomorfológicos de la microcuenca “Doñana”**

La microcuenca “Doñana” presenta las siguientes características geomorfológicas.

**Tabla 6**

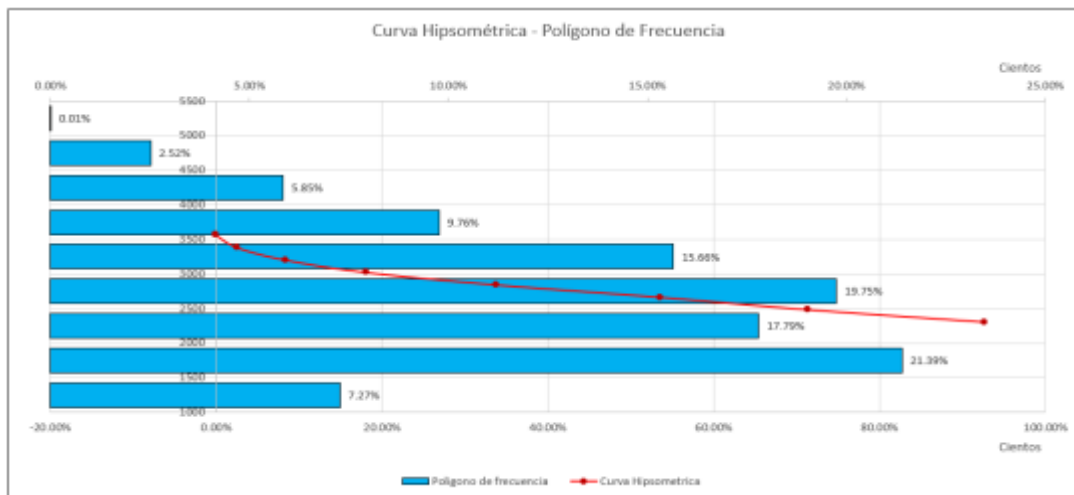
*Parámetros geomorfológicos de la microcuenca “Doñana”*

<b>Parámetros Geomorfológicos de la microcuenca</b>			
<b>Nombre del Parámetro</b>	<b>Símbolo</b>	<b>Valor</b>	<b>Unidad</b>
Factor Forma	F	0,26	S/U
Índice de Compacidad (Gravelius)	K	1,41	S/U
Rectángulo L. Mayor	L	18,51	km
Equivalente L. Menor	L	4,50	km
Densidad de Drenaje	Dd	0,80	u/km <sup>2</sup>
Índice de Pendiente	Ip	0,63	S/U

Según la **Tabla 6**, los parámetros geomorfológicos constituyen información relevante para caracterizar la microcuenca del área de estudio. Entre los datos más importantes se encuentran: el rectángulo mayor, con una longitud de 18,51 km, y el rectángulo menor, de 4,50 km. Estos dos parámetros representan, de manera geométrica, la forma idealizada de la cuenca en rectángulos. El factor de forma fue de 0,26, lo cual indica que se trata de una cuenca con forma alargada. Asimismo, el índice de Gravelius fue de 1,41, lo que también refleja una morfología alargada. Ambos valores permiten describir la forma de la superficie de la microcuenca, según su delimitación, y su influencia sobre los escurrimientos.

**Figura 9**

*Curva hipsométrica de la microcuenca “Doñana”*



Según la **Figura 9** se visualiza la curva hipsométrica de la microcuenca Doñana, analizando las frecuencias de altitudes, se define como una microcuenca joven.

### **Parámetros hidrográficos de la microcuenca “Doñana”**

**Tabla 7**

*Parámetros hidrográficos de la microcuenca “Doñana”*

<b>Hidrografía de la cuenca</b>			
Orden	Cantidad	Longitud (km)	Pendiente promedio (°)
1	38	33,03	7,893
2	8	24,68	8,166
3	2	3,35	5,878
4	1	5,80	1,622
Longitud total		66,86	
<b>Pendiente promedio de la red hídrica</b>			<b>5,890</b>

Según la **Tabla 7** describe los parámetros de drenaje de la microcuenca nos pueden determinar las características del drenaje en sí, ya que nos brinda información del orden del río (en

este caso alcanza el orden 4), la longitud de los ríos (río principal: 5,8 Km y ríos secundarios: 61,06 Km), también otros parámetros como: la densidad de drenaje 0,80.

El balance hídrico de la microcuenca “Doñana” nos ayuda a verificar la entrada y salida de agua para determinar si pudo satisfacer las necesidades hídricas de la zona de trabajo.

### Figura 10

*Balance hídrico de la microcuenca “Doñana” del año 2022*



Según la **Figura 10** se analizó el balance hídrico y se observa que hay un déficit hídrico para el año 2022 desde el mes de enero a diciembre, lo cual vemos que los valores están menores a 0,5, esto significa que el recurso agua no pudo satisfacer la demanda de la zona de trabajo, esto puede ser porque se ha presentado variaciones u oscilaciones naturales en cantidad de agua o se han presentado temporadas de sequía.

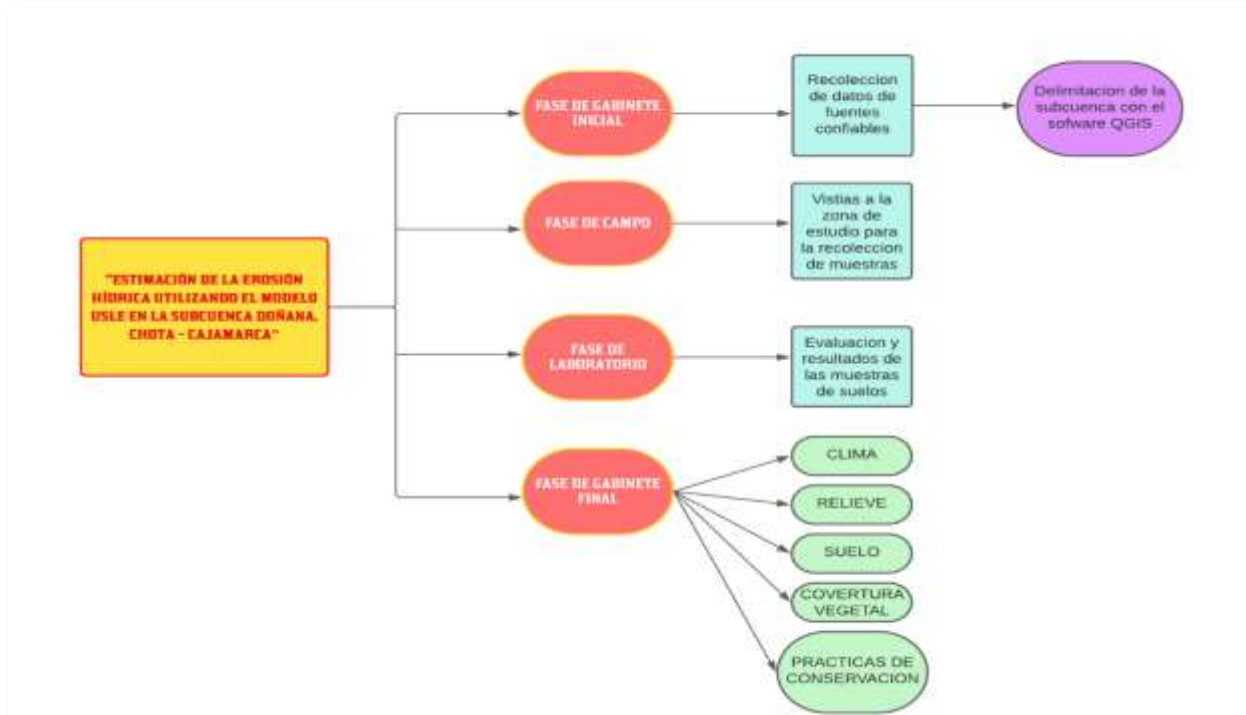
### 3.3.3. Modelo USLE

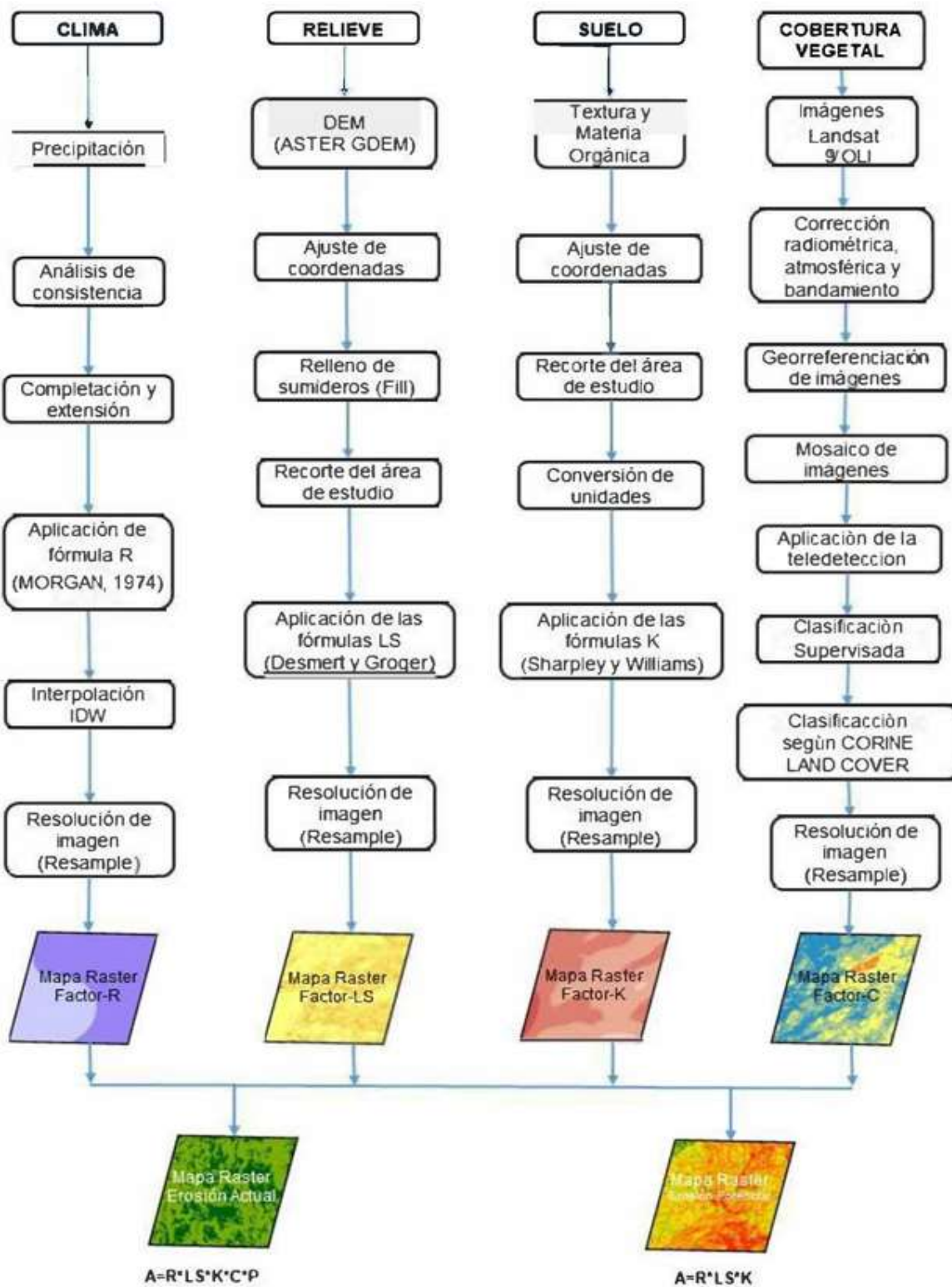
El método empleado para el lugar de estudio es la USLE, lo cual consiste en determinar la pérdida de suelos en toneladas por hectáreas al año, lo cual se calcula por la multiplicación de los factores R, K, LS, C y P.

Según el siguiente se visualiza el diagrama del trabajo de investigación, de lo cual esta descrito paso a paso de los cálculos de los diferentes parámetros.

**Figura 11**

*Diagrama del trabajo de investigación*





### **3.3.4. Fase de gabinete inicial**

Se realizó la recolección de datos específicos para el desarrollo del estudio, como datos de precipitación diaria obtenidos de 4 estaciones meteorológicas del SENAMHI más próximas a la zona de estudio, modelos de elevación digital (DEM), imágenes satelitales LANDSAT 9 OLI, mapas de uso de suelo de la FAO, entre otros. Asimismo, se procedió a la digitalización de algunos mapas antes del trabajo de campo, como la delimitación de la microcuenca mediante el uso de los softwares ArcGIS y QGIS, utilizando la herramienta Hydrology, así como la elaboración del mapa de usos de suelo y curvas de nivel de la microcuenca Doñana.

### **3.3.5. Fase de campo**

Se realizó visitas a campo de la zona de estudio para realizar coordinaciones con las autoridades locales para el apoyo de logística; asimismo, para verificar el tipo de cobertura vegetal existente en la microcuenca Doñana, finalmente se realizó el muestreo de suelos, se aplicó un muestreo de suelos por conveniencia, seleccionando cuatro tipos de suelos según la clasificación de la FAO, en cada tipo se recolectaron 10 submuestras en puntos cercanos, que luego fueron mezcladas para formar una muestra compuesta.

### **3.3.6. Fase de laboratorio**

Las muestras de suelo obtenidas en campo de manera directa, el muestreo se realizó según el tipo de suelo de la microcuenca Doñana, posteriormente se trasladaron al laboratorio de análisis de suelos y aguas en la Institución Nacional de Investigación Agraria (INIA) sede de los Baños del Inca, para determinar el porcentaje de arena, arcilla, limo y materia orgánica, los cuales son los parámetros que se utilizaron en el cálculo del factor de erosionabilidad de suelo.

### 3.3.7. Fase de gabinete final

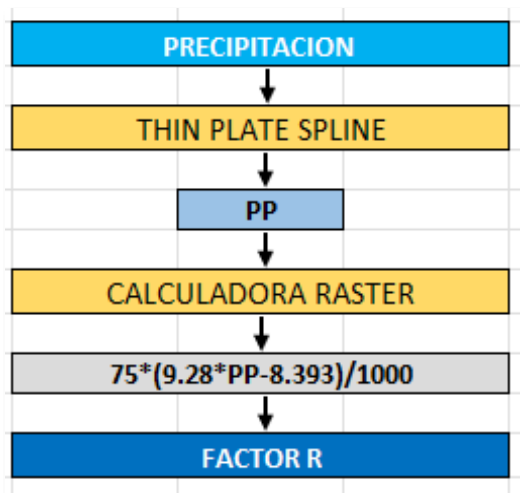
En esta última fase del estudio se realizará la determinación de los 5 factores de la ecuación universal de suelos (USLE).

#### Factor lluvia (R)

Se determinó la erosividad del suelo en un periodo de 30 años, para verificar la variación de erosividad del lugar del estudio; para ello, los datos pluviométricos de las estaciones meteorológicas fueron necesarias utilizando las estadísticas descriptivas como el histograma de determinación de saltos o anomalías, la prueba “T” de Student y “F” de Fisher con ellos se verificó la confiabilidad de los datos para que finalmente se use la metodología propuesta por Morgan en el año 1974 y con ello se determinó el valor R del lugar de estudio; de lo cual los datos obtenidos de cada estación meteorológica se introdujeron al software QGIS de la siguiente manera:

#### Figura 12

*Metodología para el cálculo del factor R*



Este proceso se realizó durante un periodo de 30 años de diferencia, desde el año 1992 hasta el 2022, para calcular la variación de erosividad y con la tabla de rangos típicos del factor R anual propuesto por Giboshi (1999), se pudo clasificar la clase del factor R que presenta nuestro lugar de estudio.

### **Tabla 8**

#### *Rangos típicos del factor R anual*

<b>Clase</b>	<b>R (MJ/ha*mm/hr)</b>
Muy baja	< 500
Baja	500 – 1000
Mediana	1000 – 3000
Alta	3000 - 6000
Muy alta	> 6000

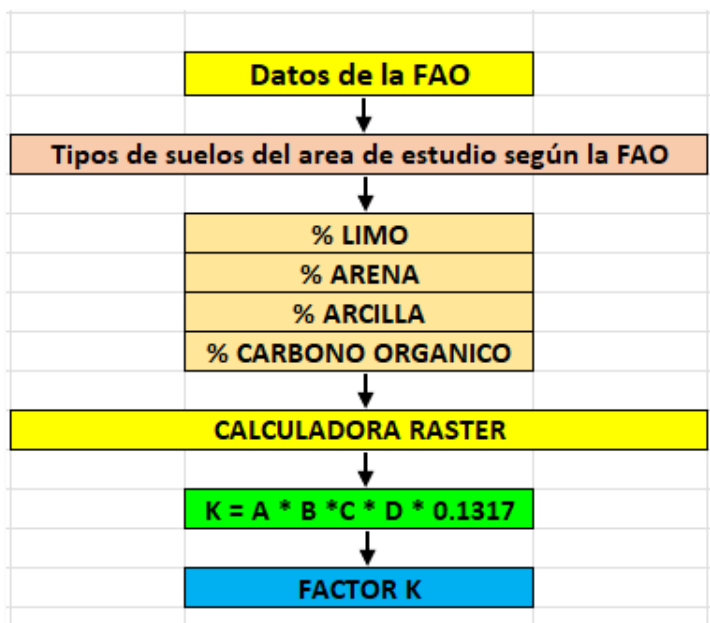
*Nota.* Fuente: Tomado de Giboshi (1999).

### **Factor de erosionabilidad (K)**

Se realizó un análisis de suelos de la microcuenca “Doñana” en función al mapa de uso de suelos de la FAO, a partir de lo mencionado se pudo determinar los tipos de suelo que presenta nuestro lugar de estudio, y con el método de Sharpley y Williams propuesto en el año 1990, se pudo calcular y estimar el factor K utilizando el método GIS, pero por otra parte las muestras que se consiguió en campo según el análisis de laboratorio, nos indicaran los porcentajes de arena, arcilla, limo y materia orgánica. Con todos los datos obtenidos de los análisis de suelos se logró hallar el valor del factor K y se realizara una comparativa de lo estimado con GIS y lo conseguido en campo. De lo cual con los datos obtenidos se introdujeron al software QGIS de la siguiente manera:

**Figura 13**

*Metodología para el cálculo del factor K*



Este proceso nos ayudó para determinar la erodabilidad de la microcuenca “Doñana” y con la tabla de Rangos típicos del factor K anual propuesto por Giboshi (1999), se pudo clasificar la clase del factor K que presenta nuestro lugar de estudio.

**Tabla 9**

*Rangos típicos del factor K anual*

Límites De Grados	Factor K: Erodabilidad (Ton.H/Mj.Mm)
Nulo	$\leq 0.010$
Ligero	$0.010 \leq K \leq 0.020$
Moderado	$0.020 \leq K \leq 0.030$
Fuerte	$0.030 \leq K \leq 0.040$
Muy Fuerte	$K \geq 0.040$

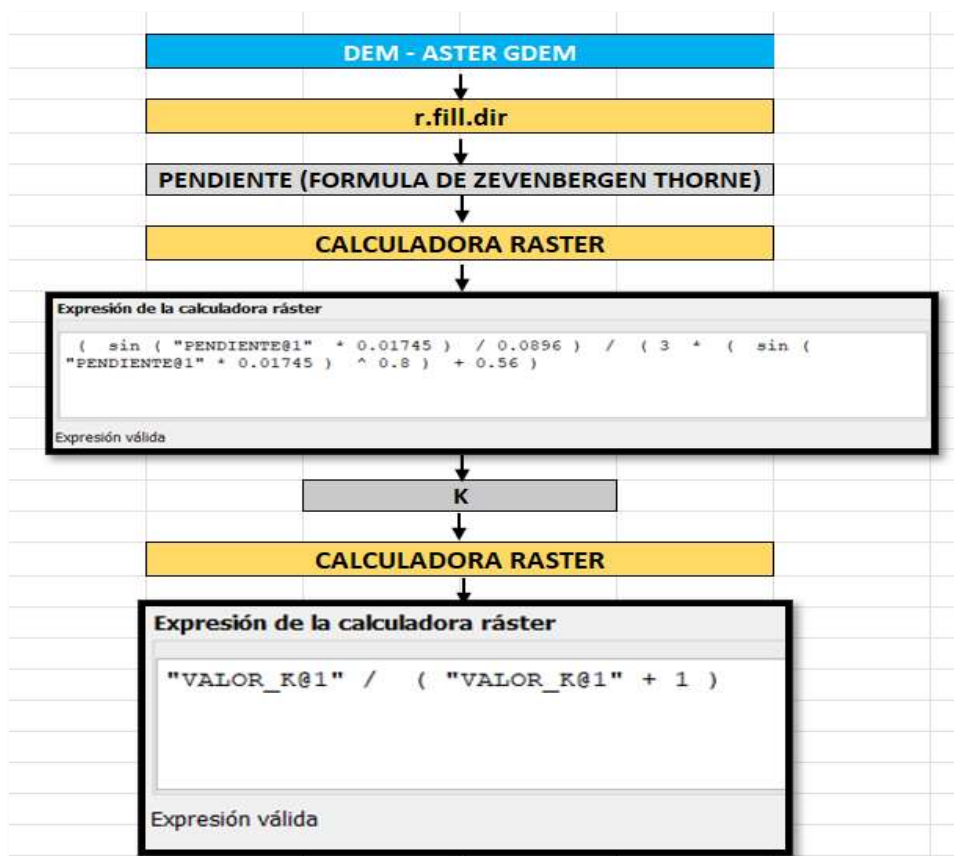
*Nota. Fuente: Tomado de Giboshi (1999).*

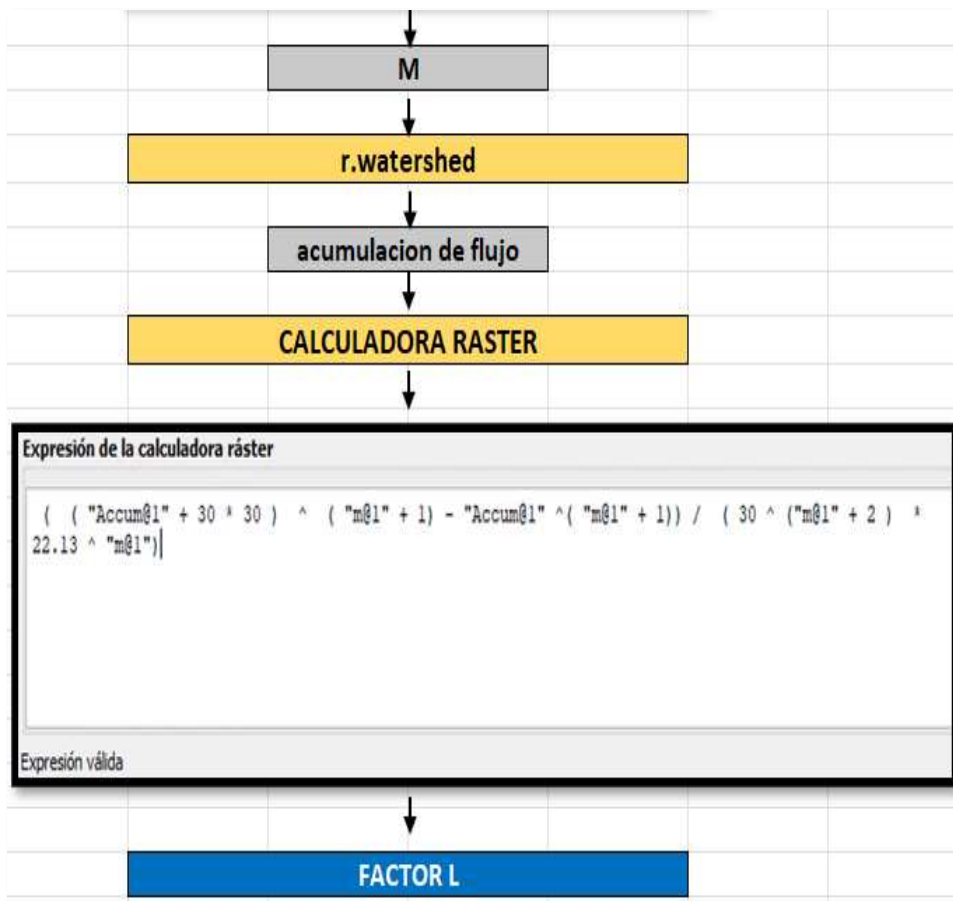
## Factor topográfico (LS)

Iniciando de un modelo de elevación digital (DEM) y con la fórmula de ZEVENBERGEN THORNE se obtuvo el mapa de pendientes de la microcuenca Doñana, y con el método propuesto por Desmet & Groger en el año 1996 se determinó el factor L. Con el mismo RASTER generado del factor L se procedió a calcular el factor S, utilizando la metodología de McCool propuesta en el año 1987, la cual realiza comparaciones del PÍXEL de la pendiente con la unitaria de valor 9%. De lo cual con los datos obtenidos se introdujeron al software QGIS de la siguiente manera:

**Figura 14**

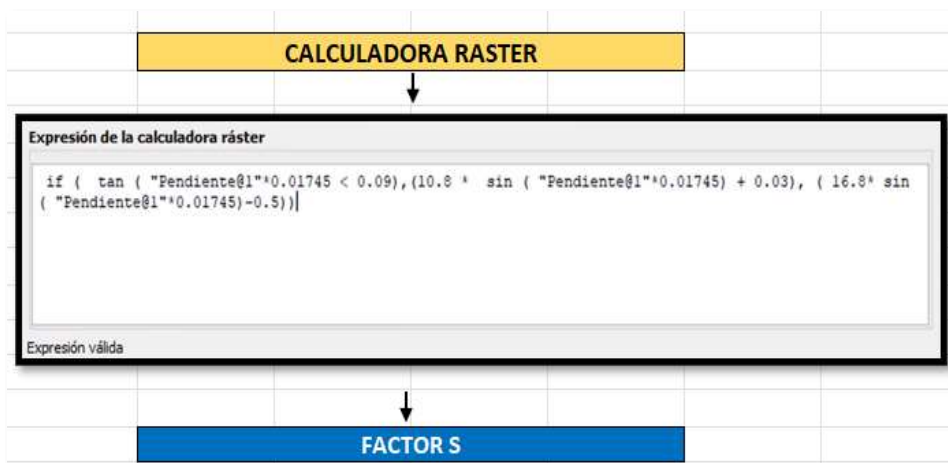
*Metodología para el cálculo del factor L*





**Figura 15**

*Metodología para el cálculo del factor S*



Una vez calculado ambos factores se procedió a calcular el factor LS, multiplicando ambos resultados con la herramienta calculadora RASTER del software QGIS.

Este proceso nos ayudó a determinar la pendiente con respecto a su longitud y grado de inclinación de la microcuenca “Doñana” y con la tabla de rangos típicos del factor LS anual propuesto por Lu et al en el año 2020, se pudo clasificar la clase del factor LS que presenta nuestro lugar de estudio.

**Tabla 10**

*Rangos típicos del factor LS anual*

<b>Grupo De Pendientes (%)</b>	<b>Factor Ls</b>	<b>Clasificación</b>
0.3 – 12	< 1.5	Muy bajo
13 – 18	1,6 - 3	Bajo
19 – 24	3 - 5	Moderado
25 – 30	5,1 - 7	Alto
30 – 60	> 7	Muy alto

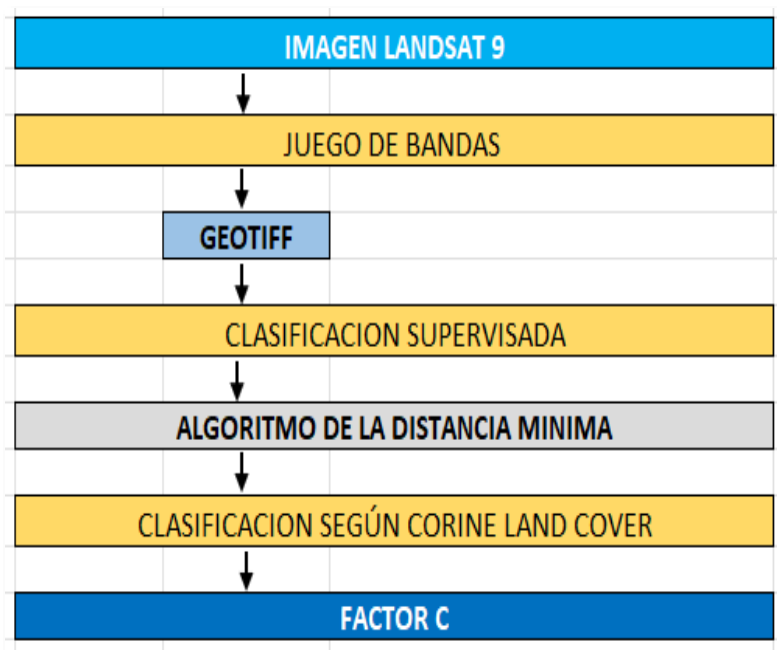
*Nota. Fuente:* Tomado de Lu et al (2020).

### **Factor de cobertura vegetal (C)**

Para el análisis del factor C, se utilizó la clasificación del uso de suelos mediante la utilización de una imagen satelital LANDSAT 9 OLI. Con el proceso de la teledetección y la clasificación supervisada se pudo obtener una imagen procesada, lo cual según la clasificación CORINE LAND COVER se pudo obtener los valores del factor C. De lo cual con los datos obtenidos se introdujeron al software QGIS de la siguiente manera:

**Figura 16**

*Metodología para el cálculo del factor C*



Los datos que genera el software QGIS fueron procesados por el método geoestadística, lo cual mediante la matriz de confusión o de precisión y el índice de Kappa se verificó la confiabilidad del proceso de teledetección utilizada.

**Figura 17**

*Rangos del índice de Kappa del factor C en la microcuenca Doñana*

INDICE KAPPA	
$K = \frac{p_o - p_e}{1 - p_e}$	
<b>Índice Kappa</b>	
0.0 - 0.2	Ínfima concordancia
0.2 - 0.4	Escasa concordancia
0.4 - 0.6	Moderada concordancia
0.6 - 0.8	Buena concordancia
0.8 - 1.00	Muy buena concordancia

### **Factor de prácticas de conservación (P)**

Se refiere a que la erosión hídrica disminuye con el efecto de la corriente del agua sobre el suelo, de tal manera que esto puede reducir la pérdida de suelo, por lo cual se realizó una visita a la microcuenca Doñana para ver las prácticas de conservación. Según lo observado no existen tales prácticas de conservación; por lo tanto, se le asignó como valor 1.

### **Determinación de los niveles de erosión hídrica**

Utilizando los valores correspondientes a los factores R, K, LS, C y P de la ecuación universal de pérdida de suelo (USLE), se procedió a realizar la multiplicación de las capas asociadas a cada uno de estos factores para la subcuenca Doñana. A partir de esta operación, se estimaron las tasas de erosión hídrica expresadas en toneladas por hectárea por año (Tn/ha/año). Finalmente, la capa resultante que representa la erosión hídrica fue clasificada conforme a la metodología propuesta por la FAO en 1980, se clasificó de la siguiente manera:

**Tabla 11**

*Niveles de erosión hídrica*

Símbolo	Nivel Erosivo	Rango (Ton/ha/año)
1	Erosión nula o ligera	< 10
2	Erosión moderada	10 – 50
3	Erosión alta	50 – 200
4	Erosión muy alta	> 200

*Nota.* Fuente: Tomado de FAO (1980), citado por Ramos (2001).

- **Erosión nula o ligera (<10 ton/ha/año):** Este grado de erosión se presenta en áreas donde la pérdida de suelo aún se considera tolerable. Sin embargo, al superar este umbral, la degradación del suelo avanza más rápidamente que su capacidad natural de regeneración. En este nivel predominan los procesos de erosión hídrica en forma laminar

- **Erosión moderada (10 – 50 ton/ha/año):** Este grado de erosión se asocia a áreas donde el desgaste del suelo ha superado los niveles aceptables y puede identificarse visualmente. En estos casos, es común observar procesos erosivos por agua, como la erosión laminar, acompañada posiblemente por la formación de pequeños surcos.
- **Erosión alta (50 – 200 ton/ha/año):** Este nivel de erosión corresponde a áreas donde los efectos del desgaste del suelo son claramente visibles en el sitio de estudio. Se pueden identificar posibles formaciones de surcos e, incluso, en ciertos casos particulares, evidencias de erosión en forma de cárcavas. Estas zonas presentan un tipo de erosión hídrica que excede los límites permisibles.
- **Erosión muy alta (>200 ton/ha/año):** Este grado de erosión se asocia a áreas donde los procesos de degradación del suelo sobrepasan los niveles aceptables. La presencia de erosión es evidente a simple vista, ya que comúnmente se observan surcos marcados y la formación de cárcavas.

### **3.4. Población, muestra y muestreo**

La población estará referida a toda el área de la cuenca del río Chotano que comprende 192 830 ha aproximadamente, pertenece a la cuenca del Atlántico, oriental o del Marañón; asimismo, la hidrología que conforma esta cuenca incluye afluentes como Doñana, Colpamayo, San Mateo, Sucsacucho y Lopesmayo (Ydrogo, 2021).

La zona de estudio involucra como muestra a la Microcuenca Doñana que abarca un área de 83376,378 ha con origen en el distrito de Conchan, cuya agua deriva del río Conchano e irriga el valle fértil cuenca Doñana; asimismo, tiene una importancia de bombeo del agua potable para la localidad de Chota (Arriola, 2017).

El muestreo será no probabilístico por conveniencia debido a que la muestra presenta componentes que dependen de las peculiaridades del estudio y no de la probabilidad (Hernández & Mendoza, 2018). Asimismo, el parámetro de selección se establece por una razón principal que es su proximidad al investigador (Gallardo & Calderon, 2017).

### **3.5. Técnicas e instrumentos de recolección de datos**

#### **3.5.1. Técnicas de recolección de datos**

La observación indirecta será empleada como técnica de recolección de datos, debido a que permite establecer un registro de los fenómenos en la investigación mediante imágenes satelitales, donde se realizará el estudio de manera confiable para un posterior análisis de datos cualitativos y cuantitativos (Hernández-Sampieri & Mendoza, 2018).

#### **3.5.2. Instrumentos para la recolección de datos**

- Registro de precipitación

Para calcular el valor del factor R en la fórmula USLE, se utilizarán datos provenientes del registro de precipitaciones del SENAMHI (Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología del Perú).

- Modelo Digital de Elevación (DEM)

Es la representación digital del terreno en tres dimensiones y en este trabajo de investigación nos ha servido para obtener el factor topográfico. El DEM utilizado se obtuvo gratis a través de la página web ASTER GDEM.

- Material cartográfico
- Imágenes satelitales Landsat 8-9 OLI

- Análisis de suelos
- GPS
- Bolsa de polietileno
- Pala recta

### **3.6. Técnicas de procesamiento y análisis de datos**

El análisis de la información fue llevado a cabo utilizando el software QGIS. Se realizó un análisis geoespacial de todos los factores individualmente con el objetivo de integrar en la ecuación USLE para generar mapas detallados de la erosión del suelo, los resultados se presentaron en formas de mapas y tablas mostrando la distribución espacial de la erosión en la zona de estudio.

### **3.7. Aspectos éticos**

Se considerarán todas las perspectivas éticas pertinentes en el desarrollo de la investigación, asegurando que la información obtenida de fuentes formales fuera procesada de manera rigurosa y transparente. Se evitará en todo momento las alteraciones de los datos provenientes de dichas fuentes, respetando plenamente los derechos de autor. La información fue citada de manera clara y precisa, siguiendo el formato de citación APA, con el propósito de garantizar la confiabilidad del estudio y eliminar cualquier riesgo de plagio (Viorato y Reyes, 2019).

## CAPÍTULO IV. RESULTADOS Y DISCUSIONES

Según la estimación de la erosión hídrica en la microcuenca Doñana, los resultados se organizaron por cada factor según el modelo USLE.

### 4.1. Descripción de los resultados

#### 4.1.1. Determinación de los factores de USLE

##### A. Factor de erosividad hídrica (R)

La determinación del factor R se basó en la recopilación de registros pluviométricos comprendidos entre los años 1992 y 2022 proporcionados por el SENAMHI. Se utilizó 4 estaciones meteorológicas, con el uso de las estadísticas descriptivas y el uso del software GIS se obtuvo el valor del factor de erosividad hídrica (R).

**Tabla 12**

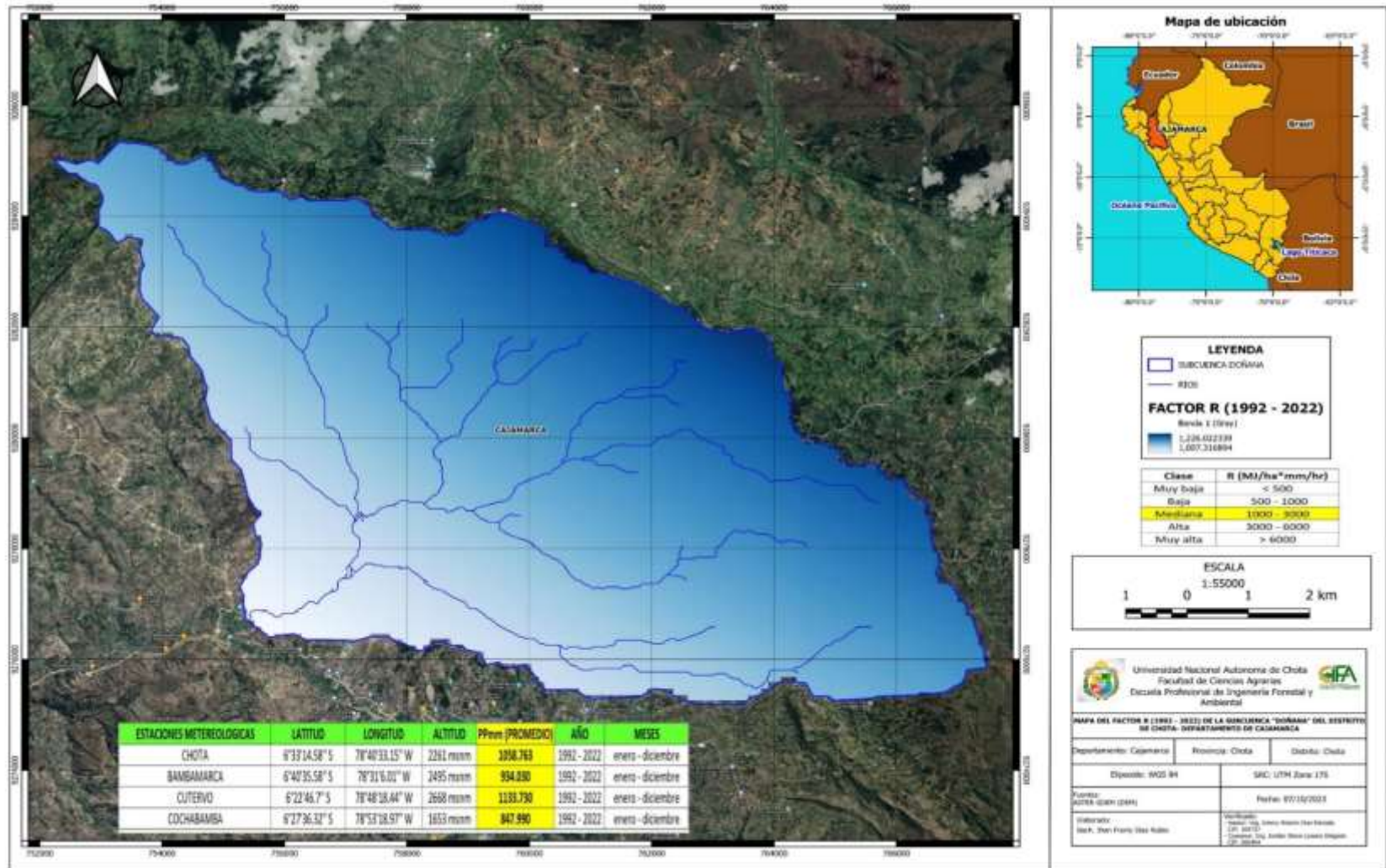
*Precipitación promedio de cada estación meteorológica - periodo (1992 – 2022)*

Estaciones Meteorológicas	Latitud (S)	Longitud (W)	Altitud (Msnm)	Pp (Mm) (Promedio)	Año	Meses
Chota	6°33'14.58'	78°40'33.15"	2261	<b>1058,763</b>	1992 - 2022	Enero - Diciembre
Bambamarca	6°40'35.58'	78°31'6.01"	2495	<b>934,030</b>	1992 - 2022	Enero - Diciembre
Cutervo	6°22'46.7"	78°48'18.44"	2668	<b>1133,730</b>	1992 - 2022	Enero - Diciembre
Cochabamba	6°27'36.32'	78°53'18.97"	1653	<b>847,990</b>	1992 - 2022	Enero - Diciembre

En la **Tabla 12** se visualiza el promedio de precipitación por 30 años de cada estación meteorológica, con el software QGIS y la fórmula propuesta por Morgan (1974) se obtuvo que el factor R promedio de las 4 estaciones meteorológicas, de lo cual se encuentra entre los rangos de 1000 a 1230 **MJ/ha\*mm/hr**, según la clasificación de rangos típicos propuesto por Giboshi (1999), el factor R de la microcuenca Doñana se encuentra en la clase de “**media**”.

## Mapa 2

Mapa del factor R (1992 – 2022) de la microcuenca Doñana del distrito de Chota - Cajamarca



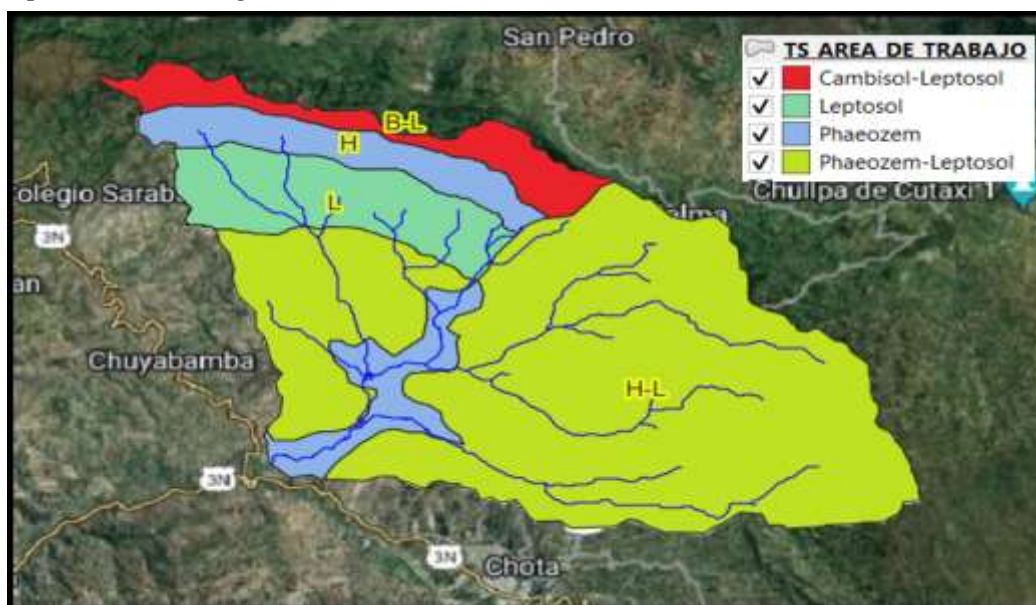
## B. Factor de erodabilidad del suelo (K)

La estimación del factor K se realizó con base en la información suministrada por la FAO y el laboratorio de la Institución Nacional de Investigación Agraria (INIA).

Según los datos proporcionados por la FAO nuestra microcuenca Doñana se encuentra dividido en cuatro tipos de suelos predominantes, los cuales son los siguientes: Cambisol – Leptosol (B-L), Leptosol (L), Phaeozem (H) y Phaeozem – Leptosol (H-L). Con ello se pudo recolectar las muestras por cada tipo de suelo para ser evaluado por el INIA y con ello tener el reporte de los resultados del suelo en porcentaje.

### Figura 18

*Tipos de suelos según la FAO en la microcuenca Doñana*



Según la **tabla 13** muestra los porcentajes de los tipos de suelo; materia orgánica con un 5.05% promedio, limo con un 38.5% promedio, arena con un 30.5% promedio y arcilla con un 31% promedio presente en nuestra microcuenca Doñana.

**Tabla 13***Índice de erosividad del suelo de la microcuenca “Doñana”*

Factor K o Índice De Erodabilidad Del Suelo (Ton* Hm*MJ-1*Mm-1.)											
											Zhu et. Al. (2014)
		sand % topso il	silt topso il	clay % topso il	0c%tops oil	(A)	(B)	(C)	(D)	CONSTAN TE	Factor K
1	HL	35	33	32	5.8	0,34 4	0,778	0,81 9	0,99 9	0,1317	0,0288385 36
2	BL	33	33	34	5.8	0,28 3	0,776	0,88 1	0,99 1	0,1317	0,0252512 86
3	H	29	43	28	6.2	0,34 7	0,765	0,8	0,99 9	0,1317	0,0279403 7
4	L	25	45	30	2.4	0,25 9	0,728	0,95 6	0,94 2	0,1317	0,0223627 76

Con el software QGIS y la fórmula propuesta por Sharpley y Williams (1990) se obtuvo que el factor K, de lo cual se encuentra entre los rangos de 0,022 a 0,029 **Ton.h/MJ.mm**, según la clasificación de rangos típicos propuesto por Giboshi (1999), el factor K de la microcuenca Doñana se encuentra en la clase de **“moderado”**.



### C. Cobertura vegetal o factor (C)

La estimación del factor C se llevó a cabo empleando datos obtenidos de la imagen satelital LANDSAT 9 OLI, se realizó un juego de bandas y se aplicó el uso de teledetección con el método de la clasificación supervisada usando el proceso de distancia mínima; con el resultado se usó la clasificación CORINE LAND COVER para la obtención de valores definidos y con ello se introdujo al software QGIS para el cálculo del factor C de la microcuenca Doñana.

Según la **Tabla 14** muestran los valores del factor C y sus áreas en hectáreas de cada clasificación del uso del suelo en la microcuenca Doñana según la clasificación CORINE LAND COVER.

**Tabla 14**

*Clasificación del uso del suelo según CORINE LAND COVER de la microcuenca “Doñana”*

Clasificación	Factor C	Área (Ha)
Tierra de cultivo no irrigada	0,45	1339,058
Bosque mixto	0,004	2999,853
Roca desnuda	1	507,17
Pastizales naturales	0,02	3448,992
Zona Urbana	0,005	222,558

Los datos recopilados fueron analizados por el método de la geoestadística, los métodos estadísticos utilizados fueron la matriz de confusión o de precisión y el índice de Kappa con la finalidad de verificar si la clasificación supervisada fue correcta.

**Tabla 15**

*Matriz de confusión o de precisión del factor C de la microcuenca “Doñana”*

<b>Clases</b>	Tierra De Cultivo No Irrigado	Bosque Mixto	Roca Desnuda	Pastizales Naturales	Zona Urbana	<b>Total</b>	Error De Comisión
TIERRA DE CULTIVO NO IRRIGADO	4	0	0	0	0	<b>4</b>	0
BOSQUE MIXTO	0	5	0	0	0	<b>5</b>	0
ROCA DESNUDA	1	0	5	0	3	<b>9</b>	4
PASTISALES NATURALES	0	0	0	5	0	<b>5</b>	0
ZONA URBANA	0	0	0	0	2	<b>2</b>	0
<b>TOTAL</b>	<b>5</b>	<b>5</b>	<b>5</b>	<b>5</b>	<b>5</b>	<b>25</b>	
ERROR DE OMISION	1	0	0	0	3		

Según la **Tabla 15** se visualiza los tipos de usos de suelos con las muestras realizadas por cada una de ellas, las cuales fueron 5 muestras por cada tipo, con ellos se logró elaborar la matriz de confusión o de precisión obteniendo así la matriz de PIVOT. En ello se visualiza el error por omisión que indica cuantas muestras según los tipos de suelo hemos incluido erróneamente, mientras que el que error por omisión nos indica cuantas muestras de suelo hemos omitido en el análisis de clasificación supervisada.

**Tabla 16**

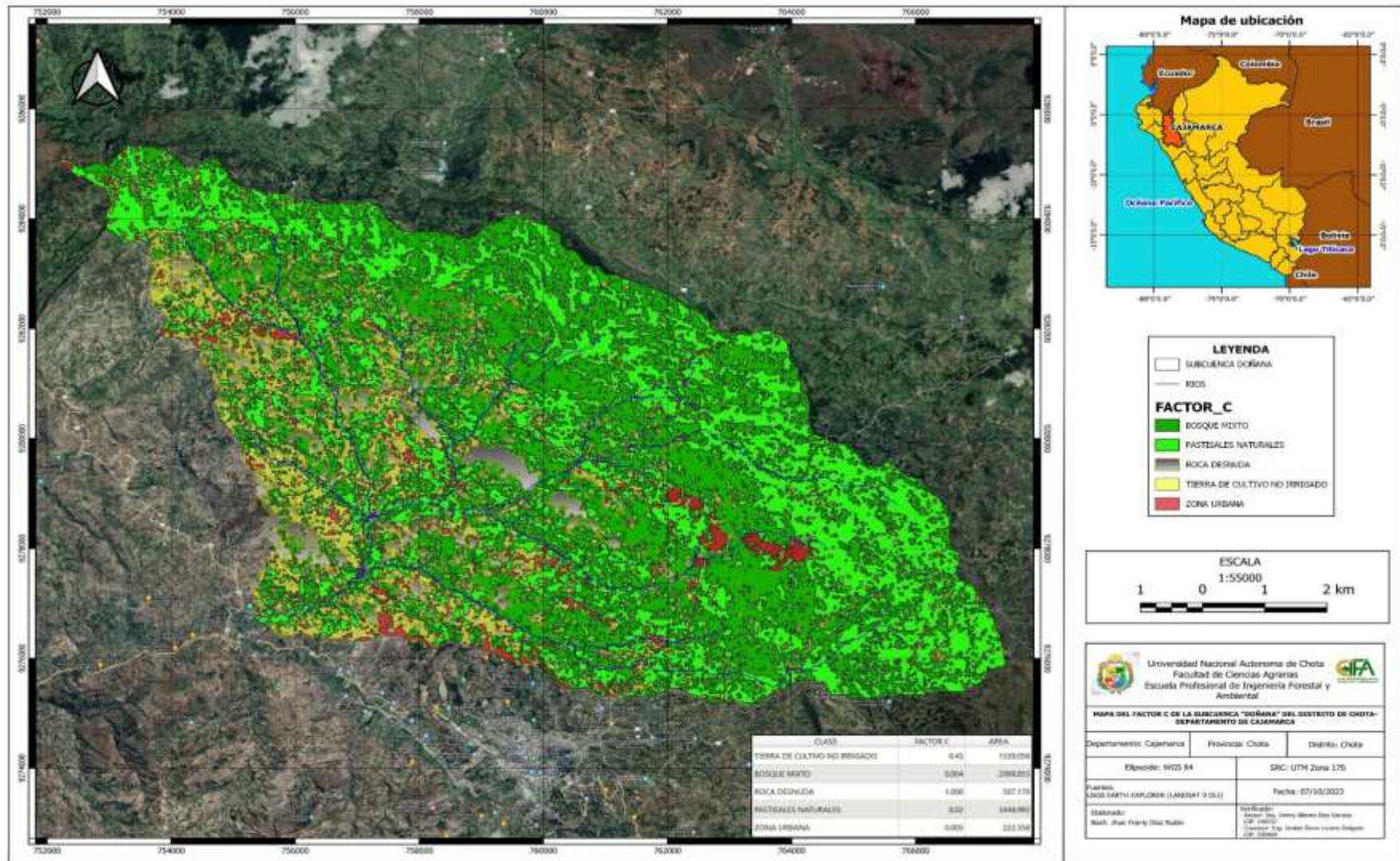
*Índice de Kappa del factor C de la microcuenca “Doñana”*

Clases	Error De Comisión (%)	Error De Omisión (%)	Precisión Global (Po)	Precisión Global (Po %)	Índice K	Índice K (%)
TIERRA DE CULTIVO NO IRRIGADO	0	20	0,84	84	0,8	80
BOSQUE MIXTO	0	0				
ROCA DESNUDA	44,44444444	0				
PASTISALES NATURALES	0	0				
ZONA URBANA	0	60				

Según la **Tabla 16** se calculó el índice Kappa, esto relaciona la precisión global con la esperada, con ello se clasifico según los rangos del índice de Kappa propuesto por Cohen (1960), lo cual el resultado es de 0,8 que representa un 80 %, eso refleja que se encuentra entre el rango de buena concordancia y muy buena; esto significa que la clasificación esta correctamente definida y que los valores son confiables.

Mapa 4

Mapa del factor C de la microcuenca Doñana del distrito de Chota - Cajamarca



#### D. Longitud y gradiente de la pendiente o factor (LS)

Para la obtención del factor LS, se emplearon datos de un Modelo Digital de Elevación (DEM), los cuales fueron obtenidos a través de la plataforma ASTER GDEM, se aplicó la fórmula ZEVENBERGEN THORNE en el software QGIS para el cálculo de la pendiente, también se aplicó la acumulación de flujos y con la fórmula de Desmet & Groger (1996) se obtuvo el factor L. Con el mismo RASTER se procedió al cálculo del factor S con la aplicación de la metodología McCool (1987).

Según la **Tabla 17** se visualiza los resultados obtenidos por el cálculo del factor LS, y usando la metodología de Lu *et al.* (2020) se encuentra entre los rangos de 0,3 hasta 18 % de pendiente y con ello los valores del factor LS se encuentra entre los rangos de 0 a 3 lo cual se encuentra en el rango de “muy bajo” y “bajo”.

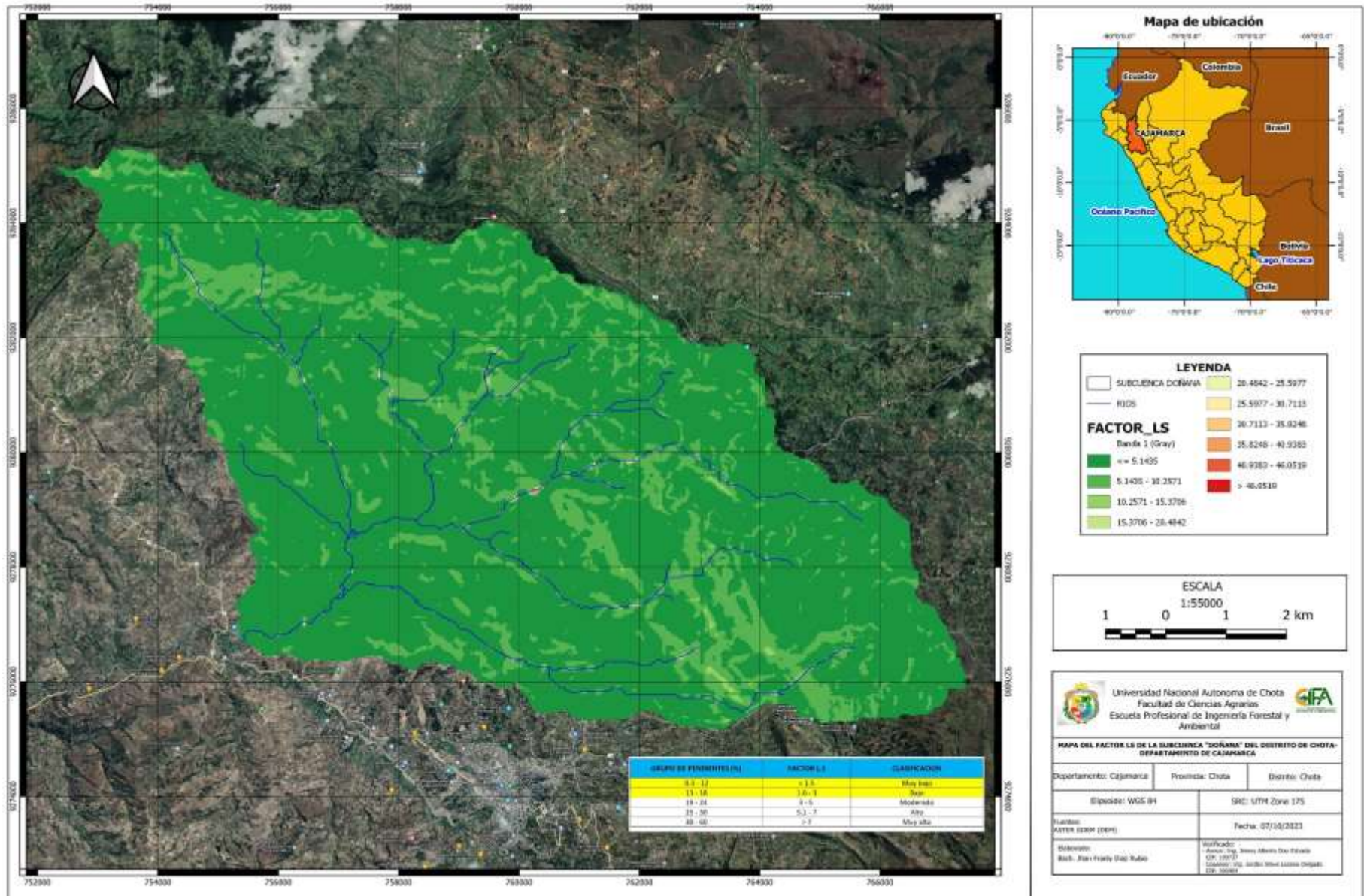
**Tabla 17**

*Grado de pendientes y valor del factor C de la microcuenca “Doñana”*

Grado De Pendientes (%)	Factor Ls	Clasificación
0.3 – 12	< <b>1.5</b>	<b>Muy bajo</b>
13 - 18	<b>1.6 – 3</b>	<b>Bajo</b>
19 - 24	3 - 5	Moderado
25 - 30	5.1 – 7	Alto
30 - 60	> 7	Muy alto

Mapa 5

Mapa del factor LS de la microcuenca Doñana del distrito de Chota - Cajamarca



### E. Estimación de prácticas de conservación de suelos o factor (P)

Durante la fase de campo no se observaron prácticas de conservación de suelo en las áreas agrícolas de la microcuenca Doñana, por lo que se asignó un valor de 1 al factor P.

### F. Estimación de la erosión potencial

La estimación de la erosión potencial se realizó en QGIS mediante la multiplicación de los factores R, K y LS, sin considerar los factores C y P. De acuerdo con la Tabla 18, los valores obtenidos varían entre 0,722 y 1677 toneladas por hectárea por año. Esta erosión hídrica potencial fue clasificada en rangos siguiendo las tablas adaptadas por la FAO (1980), citadas por Ramos (2001). En cuanto a la distribución del área, se determinó que el 74,78 % de la superficie de la microcuenca equivalente a 6.234,611 hectáreas se encuentra dentro del rango de “erosión alta”..

**Tabla 18**

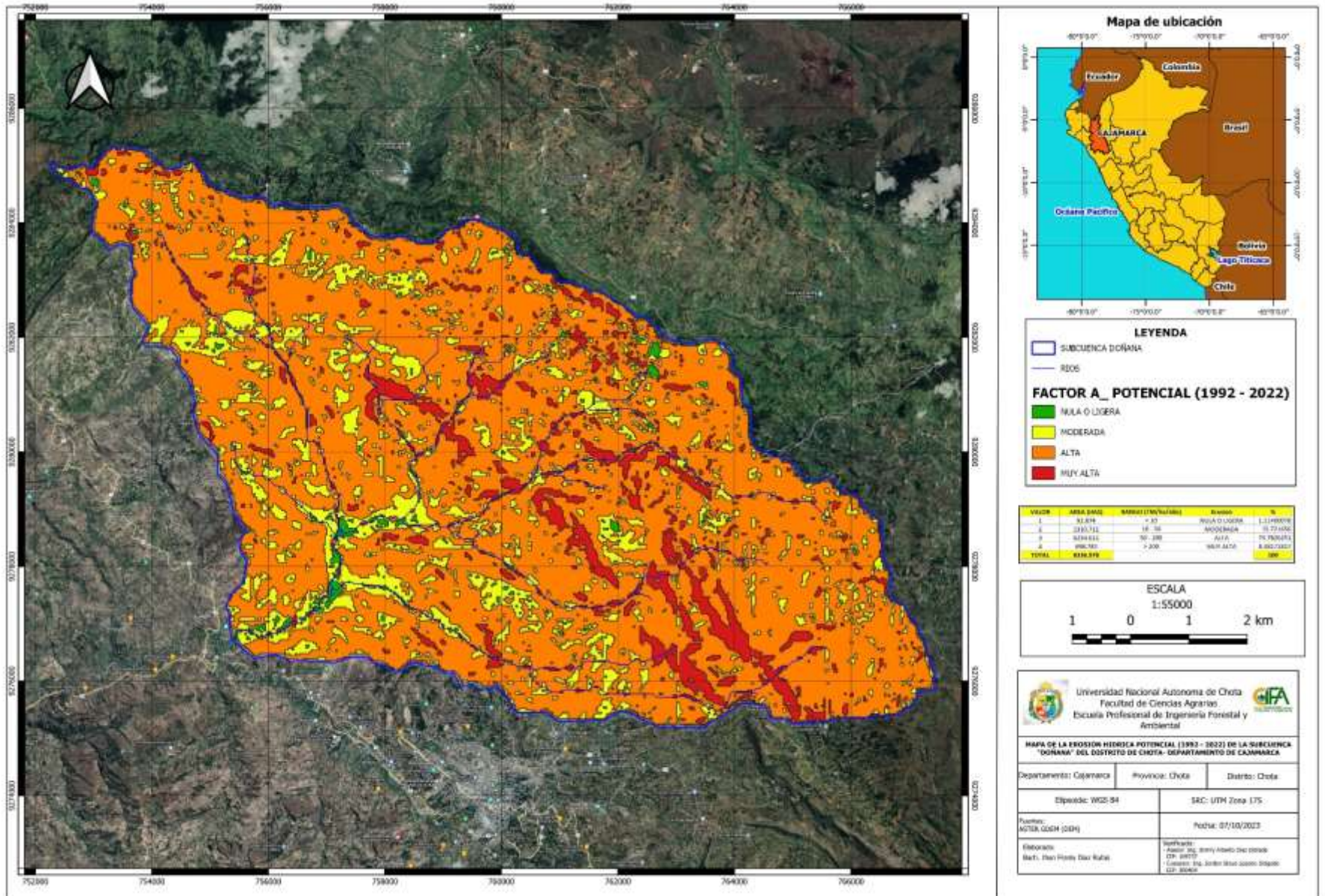
*Niveles de la erosión hídrica potencial de la microcuenca “Doñana”*

Valor	Area (Has)	Rango (Tm/Ha/Año)	Erosión	%
1	92,874	0.722 - 10	NULA O LIGERA	1,11400078
2	1310,711	10 - 50	MODERADA	15,721656
3	6234,611	50 - 200	ALTA	74,7826251
4	698,782	200 - 1677	MUY ALTA	8,38171817
Total	8336,978			100

En el Mapa 6 se observa la distribución de la erosión hídrica potencial, donde las áreas en color rojo indican niveles de erosión “muy alta” con valores que varían entre 200 y 1677 Tn/ha/año. Las zonas en color naranja representan erosión “alta”, mientras que las áreas en verde fosforescente corresponden a erosión “moderada”. Finalmente, las regiones en verde oscuro muestran erosión “nula o ligera”.

Mapa 6

Mapa del nivel de erosión hídrica potencial de la microcuenca Doñana del distrito de Chota - Cajamarca



### G. Estimación de la erosión real o factor (A)

La erosión hídrica real se calculó multiplicando los factores R, K, LS, C y P en el software QGIS. La Tabla 19 muestra que los valores estimados de erosión varían entre 0,003 y 977 toneladas por hectárea por año. La clasificación de la erosión hídrica real se realizó en función de los rangos establecidos en las tablas adaptadas por la FAO (1980), citadas por Ramos (2001). En cuanto a la distribución del área, se observa que el 78,93% de la superficie de la microcuenca, equivalente a 6.580,17 hectáreas, presenta una condición de “erosión nula o ligera”.

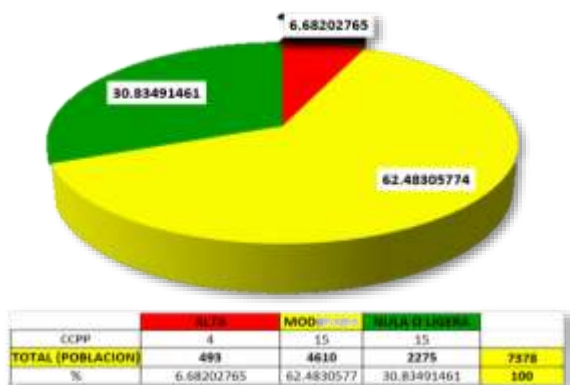
**Tabla 19**

*Niveles de la erosión hídrica real de la microcuenca “Doñana”*

Valor	Area (Has)	Rango (Tm/Ha/Año)	Erosión	%
1	6580,17	0,003 - 10	Nula O Ligera	78,92752026
2	880,897	10 - 50	Moderada	10,56614279
3	832,119	50 - 200	Alta	9,981062682
4	43,792	200 - 977	Muy Alta	0,525274266
TOTAL	8336.978			100

**Figura 19**

*Población afectada según el rango de erosión en la microcuenca Doñana*



Según la **Figura 19** se muestra el total de población afectada por la erosión hídrica en la microcuenca Doñana, se detalla que 4 centros poblados con un total de 493 personas que representan el 6,68 % se encuentran en el rango de vulnerabilidad “alta”, mientras que 15 centros poblados con un total de 4610 de personas que representan el 62,48 % se encuentra en el rango de vulnerabilidad “moderada” y por último 15 centros poblados con un total de 2275 personas que representan el 30,83 % se encuentra en el rango de vulnerabilidad “nula o ligera”.

**Figura 20**

*Población afectada (hombres y mujeres) según el rango de erosión en la microcuenca Doñana*

	ALTA	%
CCPP	4	
HOMBRES	215	43.61
MUJERES	278	56.39
<b>TOTAL (POBLACION)</b>	<b>493</b>	<b>100</b>
	MODERADA	%
CCPP	15	
HOMBRES	2156	46.77
MUJERES	2454	53.23
<b>TOTAL (POBLACION)</b>	<b>4610</b>	<b>100</b>
	NULA O LIGERA	%
CCPP	15	
HOMBRES	1010	44.39
MUJERES	1265	55.61
<b>TOTAL (POBLACION)</b>	<b>2275</b>	<b>100</b>

**Tabla 20**

*Niveles de erosión hídrica de los centros poblados de la microcuenca Doñana*

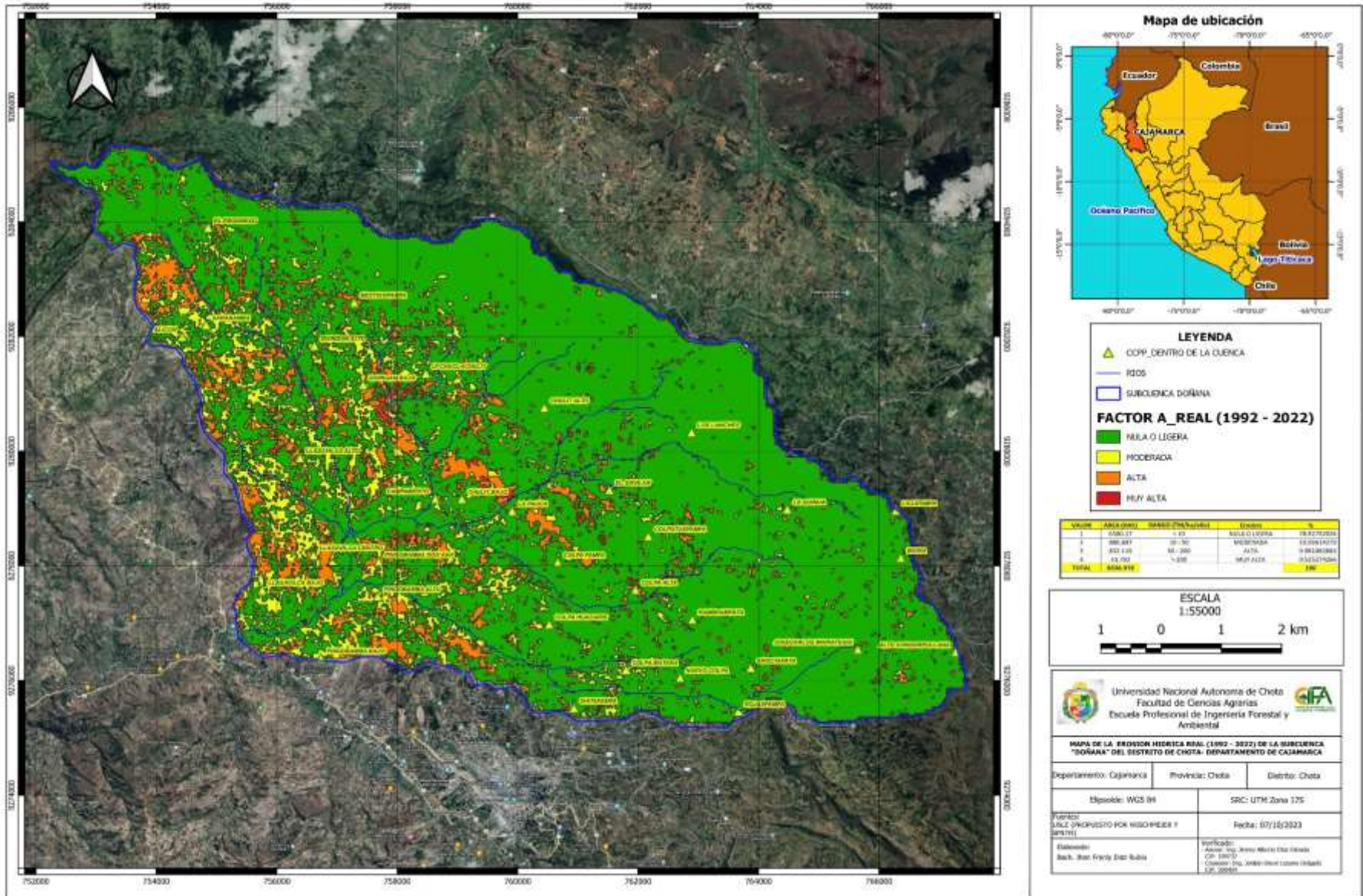
CENTROS POBLADOS	ALTITUD (m.s.n.m.)	POBLACIÓN CENSADA			Tipo de erosión hídrica	
		Total	Hombre	Mujer	Rango	simbología
<b>DISTRITO CHOTA</b>		<b>7 378</b>	<b>3 381</b>	<b>4 007</b>		
LA PAUCA	2 430	101	38	63	Alta	
LLASAVILCA CENTRO	2 390	261	123	138	Alta	
PINGOBAMBA DOÑANA	2 323	56	23	33	Alta	
SHITAPAMPA	2 509	75	31	44	Alta	
ALICON	2 749	372	172	200	Moderada	
CAMPAMENTO	2 294	178	85	93	Moderada	
COLPA MATARA	2 569	362	173	189	Moderada	
EL GAVILAN	2 661	173	79	94	Moderada	

EL PROGRESO	3 091	127	58	69	Moderada	
LLASAVILCA ALTO	2 414	379	173	206	Moderada	
LLASAVILCA BAJO	2 334	175	76	99	Moderada	
MESTISOPAMPA	2 726	210	92	118	Moderada	
PINGOBAMBA ALTO	2 282	285	141	144	Moderada	
PINGOBAMBA BAJO	2 298	173	81	92	Moderada	
SARABAMBA	2 729	635	307	328	Moderada	
SIVINGAN ALTO	2 598	386	177	209	Moderada	
SIVINGAN BAJO	2 545	348	167	181	Moderada	
UTCHUCLACHULIT	2 576	612	284	328	Moderada	
COLPA ALTA	2 643	195	91	104	Moderada	
CHOCTAPATA	3 020	35	15	20	Nula o ligera	
CHULIT BAJO	2 375	120	47	73	Nula o ligera	
COLPA HUACARIS	2 504	364	168	196	Nula o ligera	
RAMBRAMPATA	2 782	197	82	115	Nula o ligera	
ROJASPAMPA	2 841	179	74	105	Nula o ligera	
ALTO CONDORPULLANA	3 457	104	44	60	Nula o ligera	
CHULIT ALTO	2 609	478	219	259	Nula o ligera	
COLPA PAMPA	2 472	82	38	44	Nula o ligera	
COLPATUAPAMPA	2 766	283	124	159	Nula o ligera	
JOSECARLOS MARIATEGUI	3 291	31	16	15	Nula o ligera	
LA QUINUA	3 084	81	43	38	Nula o ligera	
LICLIPAMPA	3 353	61	28	33	Nula o ligera	
LOS LANCHES	2 880	56	21	35	Nula o ligera	
NUEVO COLPA	2 663	162	74	88	Nula o ligera	
WAIRA	3 387	42	17	25	Nula o ligera	

*Fuente: Tomado y adaptado del Censos Poblacional y Vivienda, INEI (2017).*

Mapa 7

Mapa del nivel de erosión hídrica real de la microcuenca Doñana del distrito de Chota - Cajamarca



El Mapa 7 representa la erosión real en la microcuenca, evidenciando que gran parte de su superficie presenta niveles de erosión “nula o ligera”. Esta condición se atribuye a los diversos usos del suelo y tipos de cobertura existentes en el área de estudio. Asimismo, se identifican sectores con mayor afectación por erosión hídrica, localizados principalmente en la parte baja de la microcuenca, donde se concentra una considerable cantidad de centros poblados.

#### **4.2. Contrastación de hipótesis**

La hipótesis planteada para el presente estudio fue: Existe erosión hídrica en la microcuenca Doñana, Chota- Cajamarca.

A partir del desarrollo de la investigación, se verificó que la hipótesis formulada al inicio es válida.

Con base en los resultados alcanzados mediante la aplicación de la metodología utilizada para el cálculo de la erosión hídrica (USLE), la pérdida de suelo anual por erosión fue de **9,997 Tn/ha/año**, este resultado se considera **aceptable**. El resultado muestra que la microcuenca Doñana presenta una erosión hídrica “**nula o ligera**” debido a que la metodología utilizada en el presente estudio fue correcta, esto se debe a que cada parámetro fue estadísticamente evaluado, lo cual estaban dentro de los parámetros permisibles.

#### **4.3. Discusión de resultados**

Para el objetivo general, determinar el grado de la erosión hídrica o pérdida de suelo mediante el uso del modelo USLE en la microcuenca Doñana del distrito de Chota, el resultado obtenido de la erosión hídrica real fue del **78,93%** que representa una erosión hídrica “Nula o Ligera”, esto se contrasta con los antecedentes que se han encontrado similares a los resultados de

esta investigación, además comparando con la teoría, respecto a la pérdida de suelo y la erosión hídrica.

Para el primer objetivo específico, determinar los factores del modelo de la ecuación Universal de pérdida de Suelo (USLE) para el cálculo de la erosión hídrica en la microcuenca Doñana del distrito de Chota, se obtuvo como resultado el factor R siendo como el valor mínimo de **1007,316 MJ/ha\*mm/hr** y el valor máximo de **1226,022 MJ/ha\*mm/hr**, ello se encuentra en el rango de “Media”. Lo cual concuerda nuestro resultado con la investigación de Tesfaye *et al.* (2018), ya que su resultado del factor R se encuentra entre **990,98 a 1092,1 MJ/ha\*mm/hr** siendo que está en el mismo rango de lo calculado. En cambio, con el resultado de Pham *et al.* (2018) se difiere, debido a que los resultados que presenta están sobre el rango calculado, debido a que su factor R está entre **1634 a 1732 MJ/ha\*mm/hr**.

Para el cálculo del factor K, nuestro resultado tuvo como valor mínimo a **0,022 Ton.h/MJ.mm** y un valor máximo de **0,0288 Ton.h/MJ.mm**, ello se encuentra en el rango de “Media”. Lo cual concuerda con lo calculado por Quiñonez (2019) y Puerta & Veneros (2018); ya que ambos su resultado del factor K oscila entre el rango de **0,0327** hasta **0,0443 Ton.h/MJ.mm**, lo cual se encuentra en el mismo rango de lo investigado.

Para el cálculo del factor topográfico LS, nuestro resultado tuvo como valor mínimo de **0,3%** y el valor máximo de 18%, ello se encuentra en el rango de “Muy Bajo y Bajo”. Lo cual concuerda con Carrasco & Beretta (2017), ya que en su investigación el factor topográfico es menor a **0,73%**, del mismo modo se concuerda con Puerta & Veneros (2018), ya que obtuvieron como resultado de su factor LS un rango de 1 a 10%, ambos están dentro del rango de nuestra investigación.

Para el segundo objetivo específico, identificar las zonas vulnerables según el grado de la erosión hídrica en la microcuenca Doñana del distrito de Chota, se obtuvo como resultado que un 6.68% de toda la población de la microcuenca Doñana se encuentra en un nivel de erosión “Alta”, lo cual concuerda con el análisis hecho en la investigación, esto debido a que dichos centros poblados se encuentran en lugares muy expuestos a erosión.

Para el tercer objetivo específico, determinar la cantidad de suelo que se pierde en **TM/ha/año** en la microcuenca Doñana del distrito de Chota, el resultado de nuestra investigación fue de **9,997 TM/ha/año** lo cual es la pérdida del suelo anual, ello se encuentra dentro de los rangos permisible de erosión internacionalmente. Lo cual concuerda con Roy (2019) y Puerta & Veneros (2018), ya que en sus investigaciones el resultado de la erosión hídrica fue de **4,3 Tn/ha/año** hasta **8,891 Tn/ha/año**, ambos están dentro del rango de nuestra investigación.

Las implicancias de esta investigación radican en su aporte al manejo sostenible del suelo y los recursos hídricos de la microcuenca Doñana, Chota - Cajamarca, proporcionando información clave para la planificación territorial y la implementación de estrategias de conservación del suelo. Los resultados obtenidos podrían ser utilizados por entidades locales y regionales para mitigar los impactos de la erosión hídrica, mejorar la productividad agrícola y reducir los riesgos ambientales como la sedimentación en cuerpos de agua. Sin embargo, esta investigación también presenta limitaciones inherentes al uso del modelo USLE, como la dependencia de datos precisos para los factores del modelo (precipitación, uso del suelo, pendientes, entre otros) y su enfoque simplificado, que puede no capturar completamente la complejidad de los procesos de erosión en terrenos con características heterogéneas. Además, la disponibilidad limitada de datos locales y la variabilidad climática pueden afectar la exactitud de los resultados y su extrapolación a otros contextos.

## CAPÍTULO V. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

### 5.1. Conclusiones

Producto de la aplicación del modelo USLE en la microcuenca Doñana, se determinó que el 78,93 % del área (equivalente a 6.580,17 hectáreas) existe un grado de erosión “Nula o Ligera”, lo que implica pérdidas de suelo permisibles y una recuperación natural más rápida. El factor de erosividad (R), calculado a partir del promedio de precipitación de 30 años, se ubicó en un rango “Medio” según Giboshi (1999), con valores entre 1007,316 y 1226,022 MJ/ha·mm/h. El factor de erodabilidad (K), determinado con datos de la FAO e INIA, presentó valores entre 0,022 y 0,0288 ton·ha·MJ<sup>-1</sup>·mm<sup>-1</sup>, ubicándose en un rango de susceptibilidad “Moderada”. Para el factor topográfico (LS), se usó un modelo digital de elevación de 30x30 m, encontrando pendientes entre 0,3 % y 18 %, clasificadas como “Muy Bajas y Bajas”, lo cual sugiere escasa pérdida de suelo por escorrentía laminar. El análisis del factor de cobertura vegetal (C), realizado mediante imágenes LANDSAT 9 y técnicas de teledetección, permitió clasificar los usos de suelo según CORINE LAND COVER, verificando su precisión con geoestadística y el índice de Kappa. Finalmente, al no identificarse prácticas de conservación en el área, se asignó al factor P un valor de 1. Estos resultados proporcionan una base sólida para la toma de decisiones en el manejo sostenible del suelo de la microcuenca.

Como resultado del cálculo de la erosión hídrica en la microcuenca Doñana, se apreció que hay varios tipos de grados erosivos dentro del área de estudio, lo cual se identificaron las zonas más vulnerables por centros poblados; según el análisis presenta tres tipos de rangos erosión, los cuales son “Nula o Ligera”, “Moderada” y “Alta”; según las zonas que más afecta la erosión hídrica es en el rango de “Alta”, en ella se encuentra 4 centros poblados lo cuales son “La Pauca”, “Llasavilca Centro”, “Pingobamba Doñana” y “Shitapampa” con un población de 493 pobladores

(hombres: 215 y mujeres: 278), esto equivale al 6.682% de la población total que presenta la microcuenca. Esto significa que los centros poblados en este rango de erosión deberían ser reubicados a otros lugares de la microcuenca, para su mejor bienestar, debido que actualmente están siendo perjudicados en la parte agrícola como en su mismo cuidado porque son más vulnerables a cualquier tipo de peligro.

Con los resultados encontrados mediante la utilización de la metodología USLE para el cálculo de la erosión hídrica (USLE), la pérdida de suelo anual por erosión fue de **9,997 Tn/ha/año**, este resultado se encuentra en los rangos permisibles según los límites de erosión internacionalmente, esto significa que lo calculado es aceptable para la investigación.

## **5.2. Recomendaciones**

Se recomienda emplear el modelo USLE como herramienta para identificar las áreas con mayor susceptibilidad a la erosión hídrica, lo cual facilitará la planificación y gestión de acciones dentro de la unidad hidrográfica.

Se sugiere utilizar sistemas de información geográfica para analizar la erosión hídrica del suelo en las diferentes unidades hidrográficas, ya que esta herramienta facilita una estimación precisa de la pérdida de suelo.

Es prioritario intervenir a corto plazo en las zonas que presentan un alto nivel de erosión, especialmente en aquellas áreas de la cuenca que han sido más afectadas, ya que son las más susceptibles a continuar deteriorándose. Por esta razón, se debe centrar la atención en estos sectores con el fin de enfrentar el problema de la erosión de manera oportuna.

La cobertura vegetal desempeña un papel clave en la mitigación de la erosión causada por el agua, por lo que se sugiere implementar programas de reforestación en las zonas con mayor

vulnerabilidad a este tipo de degradación. Esto permitiría reducir el impacto erosivo gracias al sistema radicular de las plantas y la acumulación de hojarasca, lo que, a su vez, favorecería una mayor infiltración de agua en el suelo.

Es aconsejable aplicar medidas de conservación de suelos en las áreas donde se identificaron niveles moderados y altos de erosión hídrica. Algunas de estas prácticas incluyen la construcción de surcos de contención, terrazas de infiltración y técnicas para manejar el escurrimiento superficial. La adopción de estas estrategias contribuiría a mejorar la estructura del suelo, reducir la inclinación del terreno, aumentar la capacidad de absorción de agua y elevar el contenido de materia orgánica en el suelo. Esto no solo beneficiaría la disminución de erosión del suelo, sino que también tendría un gran impacto positivo en la agricultura. (Ruiz Montenegro, 2019) (Safdar & Bidi, 2017) (Mundo Agropecuario, 2022) (Gonzales & Coloma, 2012) (Providencia , 2023) (Rodríguez Souilla , 2018) (Lu y otros, 2020)

## CAPÍTULO VI. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Alewell, C., Borrelli, P., Meusburger, K., & Panagos, P. (2019). Using the USLE: Chances, challenges and limitations of soil erosion modelling. *International Soil and Water Conservation Research*, 7(3), 203-225. <https://doi.org/10.1016/j.iswcr.2019.05.004>
- Al-Saiyd, N. (2015). A Strategic Framework of GIS Web Applications: Structure and Contents. *International Journal of Computer Technology and Applications*, 6, 571-582.
- Alvarez, A. (2018). Analisis temporal del nivel de la erosion hidrica de la subcuenca del rio Ichu 2013 y 2017. *TAYACAJA*, 3(2), 161.
- Atauje, D. E., & Chuchón, E. (2018). Estimación de la erosión hídrica para la conservación de suelos en la cuenca Huatatas, Ayacucho 2017. *Universidad Nacional de San Cristóbal de Huamanga*. <https://bit.ly/3phGMbo>
- Barrera, A. M. V. (2021). Importancia del manejo de suelos en la sostenibilidad agrícola. *Revista Semilla del Este*, 2(1), 28-39.
- Bashir, S., Javed, A., Bibi, I., & Ahmad, N. (2017). *Soil and Water Conservation*.
- Barturen, M. (2016). Cuantificación de la erosión hídrica en el Perú y los costos ambientales asociados [Tesis de maestría, Pontificia Universidad Católica del Perú]. Repositorio institucional de la Pontificia Universidad Católica del Perú. [https://tesis.pucp.edu.pe/repositorio/bitstream/handle/20.500.12404/6822/Rosas\\_Miluska\\_Cuantificacion\\_Erosion\\_Hidrica\\_Peru.pdf?sequence=1&isAllowed=](https://tesis.pucp.edu.pe/repositorio/bitstream/handle/20.500.12404/6822/Rosas_Miluska_Cuantificacion_Erosion_Hidrica_Peru.pdf?sequence=1&isAllowed=)
- Benavidez, R., Jackson, B., Maxwell, D., & Norton, K. (2018). A review of the (Revised) Universal Soil Loss Equation ((R)USLE): With a view to increasing its global applicability

- and improving soil loss estimates. *Hydrology and Earth System Sciences*, 22(11), 6059-6086. <https://doi.org/10.5194/hess-22-6059-2018>
- Borrelli, P., Robinson, D. A., Fleischer, L. R., Lugato, E., Ballabio, C., Alewell, C., Meusburger, K., Modugno, S., Schütt, B., Ferro, V., Bagarello, V., Oost, K. V., Montanarella, L., & Panagos, P. (2017). An assessment of the global impact of 21st century land use change on soil erosion. *Nature Communications*, 8(1), 2013. <https://doi.org/10.1038/s41467-017-02142-7>
- Camacho-Zorogastúa, K., & Gomez-Lora, W. (2018). Erosión hídrica por lluvias máximas en diferentes tiempos de retorno en la subcuenca Cumbaza—Región San Martín. *Cátedra Villarreal*, 6(2), Article 2. <https://doi.org/10.24039/cv201862275>
- Camargo, C., Pacheco, C., & López, R. (2017). Erosión hídrica, fundamentos, evaluación y representación cartográfica: Una revisión con énfasis en el uso de sensores remotos y Sistemas de Información Geográfica. *Gestión y Ambiente*, 20(2), 265-280. <https://doi.org/10.15446/ga.v20n2.63917>
- Carrasco, L., & Beretta, A. (2017). Soil erosion by water estimated for 99 Uruguayan basins. *Ciencia e Investigación Agraria*, 44(2), 184-194. <https://doi.org/10.7764/rcia.v44i2.1717>
- Chagas, C. I., & Behrends Kraemer, F. (2018). *Escurrimiento, erosión del suelo y contaminación de los recursos hídricos superficiales por sedimentos asociados a la actividad agropecuaria extensiva: Algunos elementos para su análisis*. Universidad de Buenos Aires. Facultad de Agronomía. <https://bit.ly/3QrYcOw>
- Chandra Pandey, P., Tripathi, A. K., & Sharma, J. K. (2021). Chapter 16—An evaluation of GPS opportunity in market for precision agriculture. En G. p. Petropoulos & P. K. Srivastava

- (Eds.), *GPS and GNSS Technology in Geosciences* (pp. 337-349). Elsevier.  
<https://doi.org/10.1016/B978-0-12-818617-6.00016-0>
- Cherlinka, V. (30 de Julio de 2024). *EOS DATA ANALYTICS*. Obtenido de Erosión del suelo:  
Tipos, como evitarla y controlarla. : [tps://eos.com/es/blog/erosion-del-suelo/](https://eos.com/es/blog/erosion-del-suelo/)
- Comisión Europea. (2019). *Global bill for soil erosion by water: US\$8,000,000,000*.  
<https://bit.ly/3QndqnR>
- Delgado, J. (2020). Estimación de la pérdida de suelos utilizando el modelo USLE y herramientas SIG, en la cuenca del río Chillón, Lima, Perú. *South Sustainability*, 1(1), e007-e007.  
<https://doi.org/10.21142/SS-0101-2020-007>
- Duniway, M. C., Pfennigwerth, A. A., Fick, S. E., Nauman, T. W., Belnap, J., & Barger, N. N. (2019). Wind erosion and dust from US drylands: A review of causes, consequences, and solutions in a changing world. *Ecosphere*, 10(3), e02650.  
<https://doi.org/10.1002/ecs2.2650>
- Duran, M. V. L., & Osorio, Á. A. (2021). Sostenibilidad del manejo del suelo en procesos productivos de transición agroecológica: *Ecosistemas*, 30(2), 2061-2061.  
<https://doi.org/10.7818/ECOS.2061>
- Eekhout, J. P. C., & de Vente, J. (2022). Global impact of climate change on soil erosion and potential for adaptation through soil conservation. *Earth-Science Reviews*, 226, 103921.  
<https://doi.org/10.1016/j.earscirev.2022.103921>
- Escobar Ancasí, J. L., & Soto Escobar, C. (2021). Erosión hídrica mediante el modelo USLE para la sostenibilidad del suelo de la subcuenca Vilca a través de sistemas de información geográfica en la región Huancavelica 2020. *Repositorio Institucional - UCV*.  
<https://bit.ly/3vZYaF6>

- Escobar, 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)*. <https://bit.ly/3QIhL4v>
- FAO. (1980). *Metodología provisional para la evaluación de la degradación de los suelos*.
- Falconer, L., Telfer, T., Pham, K. L., & Ross, L. (2018). 2.14—GIS Technologies for Sustainable Aquaculture. En B. Huang (Ed.), *Comprehensive Geographic Information Systems* (pp. 290-314). Elsevier. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-409548-9.10459-2>
- Fernández-Raga, M., Palencia, C., Keesstra, S., Jordán, A., Fraile, R., Angulo-Martínez, M., & Cerdà, A. (2017). Splash erosión: A review with unanswered questions. *Earth-Science Reviews*, 171, 463-477. <https://doi.org/10.1016/j.earscirev.2017.06.009>
- Figueroa, R. (2018). *Cálculo del índice de vulnerabilidad climática de recursos hídricos en la región Cajamarca 2018* [Tesis de grado, Universidad Privada del Norte]. <https://bit.ly/3w2ysjn>
- García, V. A. (2021). Factores que inciden en la erosión hídrica. *Ciencia y Práctica*, 1(2), Article 2. <https://doi.org/10.52109/cyp2021217>
- Giménez Suárez, Martín Cruz (2008). Metodología de cálculo del factor topográfico, LS, integrado en los modelos Rusle y Usped. Aplicación al arroyo del lugar, Guadalajara (España). Tesis (Doctoral), E.T.S.I. Montes (Universidad Politecnica de Madrid) [antigua denominación]. <https://oa.upm.es/1914/>
- Giboshi, M. (1999). Desenvolvimento de um sistema especialista para determinar a capacidade de uso da terra. Campinas - Brazil.
- Grigar, J., Duiker, S. W., & Flanagan, D. (2020). Understanding Soil Erosion by Water to Improve Soil Conservation. *Crops & Soils*, 53. <https://doi.org/10.1002/crso.20030>

- Gonzales, A., & Coloma, J. (2012). *Generacion de geoinformacion para la gestion del territorio a nivel nacional*.
- Gutiérrez, R. (2017). *Cuantificación de la erosión hídrica en el Perú | Civilizate*.  
<https://bit.ly/3w2yxnb>
- Holz, D. J., Williard, K. W. J., Edwards, P. J., & Schoonover, J. E. (2017). Soil Erosion in Humid Regions: A Review. *Journal of Contemporary Water Research & Education*, 154(1), 48-59. <https://doi.org/10.1111/j.1936-704X.2015.03187.x>
- Huerta-Olague, J. de J., Oropeza Mota, J. L., Guevara Gutiérrez, R. D., Ríos Berber, J. D., Martínez Menes, M. R., Barreto García, O. A., Olgún López, J. L., Mancilla Villa, O. R., Huerta-Olague, J. de J., Oropeza Mota, J. L., Guevara Gutiérrez, R. D., Ríos Berber, J. D., Martínez Menes, M. R., Barreto García, O. A., Olgún López, J. L., & Mancilla Villa, O. R. (2018). Efecto de la cobertura vegetal de cuatro cultivos sobre la erosión del suelo. *Idesia (Arica)*, 36(2), 153-162. <https://doi.org/10.4067/S0718-34292018005000701>
- INEI (2017). Censos Nacionales 2017: XII de población, VII de vivienda y III de comunidades indígenas. <https://censo2017.inei.gob.pe/>
- Issaka, S., & Ashraf, M. (2017). Impact of soil erosion and degradation on water quality: A review. *Geology, Ecology, and Landscapes*, 1, 1-11.  
<https://doi.org/10.1080/24749508.2017.1301053>
- Jaramillo, D. (2002). Introducción a la ciencia del suelo. En *Introduccion a La Ciencia Del Suelo*.
- Jiménez Colala, D. (2021). Estudio de la erosión y pérdida de suelos empleando un simulador de lluvias en la ciudad de Chongoyape—Chiclayo. *Repositorio Institucional - USS*.  
<https://bit.ly/3PjXm4M>

- Kavka, P., Neumann, M., Dostál, T., Zumr, D., Laburda, T., Rodrigo-Comino, J., & Iserloh, T. (2021). Chapter 17—Rainfall simulation experiments as a tool for process research in soil science, hydrology, and geomorphology. En J. Rodrigo-Comino (Ed.), *Precipitation* (pp. 395-418). Elsevier. <https://bit.ly/3Qnip7Q>
- Khairunnisa, F., Tambunan, M. P., & Marko, K. (2020). Estimation of soil erosion by USLE model using GIS technique (A case study of upper Citarum Watershed). *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, 561(1), 012038. <https://doi.org/10.1088/1755-1315/561/1/012038>
- Kumawat, A., Yadav, D., Samadharmam, K., & Rashmi, I. (2020). Soil and Water Conservation Measures for Agricultural Sustainability. En *Soil Moisture Importance*. IntechOpen. <https://doi.org/10.5772/intechopen.92895>
- Lee, S., Chu, M. L., Guzman, J. A., & Botero-Acosta, A. (2021). A comprehensive modeling framework to evaluate soil erosion by water and tillage. *Journal of Environmental Management*, 279, 111631. <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2020.111631>
- Lima-Cueto, F. J., Blanco-Sepúlveda, R., Gómez-Moreno, M. L., Lima-Cueto, F. J., Blanco-Sepúlveda, R., & Gómez-Moreno, M. L. (2018). La erosión del suelo y la normativa ambiental de la política agraria europea en cultivos de olivar (*Olea europaea*) del sur de España. *Agrociencia*, 52(3), 293-308.
- López-García, E. M., Torres-Trejo, E., López-Reyes, L., Flores-Domínguez, Á. D., Peña-Moreno, R. D., & López-Olguín, J. F. (2019). Estimation of soil erosion using USLE and GIS in the locality of Tzicatlacoyan, Puebla, México. *Soil and Water Research*, 15 (2020) (No. 1), 9-17. <https://doi.org/10.17221/165/2018-SWR>

- Luo, J., Zheng, Z., Li, T., & He, S. (2018). Changes in micro-relief during different water erosive stages of purple soil under simulated rainfall. *Scientific Reports*, 8, 3483. <https://doi.org/10.1038/s41598-018-21852-6>
- Lu, S., Liu, B., Hu, Y., Fu, S., & Cao, Q. (2020). Factor topográfico de erosión del suelo (LS): precisión calculada a partir de diferentes fuentes de datos. *Elsevier*, 187.
- Mancilla, G. (2008). *Uso y conservación de suelos: Uso de la ecuación universal de pérdidas de suelo (USLE) en el campo forestal*. 63.
- McCool, DK, Brown, LC y Foster, GR (1987) Factor de pendiente revisado para la ecuación universal de pérdida de suelo. *Transacciones de la Sociedad Estadounidense de Ingenieros Agrícolas*, 30, 1387-1396. <http://dx.doi.org/10.13031/2013.30576>.
- Mejía, V., Dal Pozzo, J., Montilla, F., & Torres, P.; (2010). Universidad de los Andes. *Revista Geográfica Venezolana*, 51(2), 203–223. <http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=347730385003>
- MINAGRI. (2006). La Zonificación Ecológica Económica potencial de los suelos. <https://Www.Minagri.Gob.Pe/Portal/43-Sector-Agrario/Suelo>
- Ministerio de Agricultura y Riego. (2015). *Reducción de la Degradación de los Suelos Agrarios*. 16.
- Ministerio del Ambiente. (2012). Memoria descriptiva del mapa de cobertura vegetal del Perú al 2009. Dirección General de Evaluación y Financiamiento del Patrimonio Natural. Lima. 76 p.
- Mundo Agropecuario. (08 de Agosto de 2022). *El control de la erosión por salpicadura del suelo puede beneficiar el desarrollo sostenible de las plantaciones de caucho*. Obtenido

- de PubliAgro: <https://publiagro.com.bo/2022/08/control-de-erosion-salpicadura-beneficiar/>
- Nario, A., Parada, A. M., Videla, X., Pino, I., Acuña, M., Casanova, M., Seguel, O., Luzio, W., Balderacchi, M., Capri, E., Moya, J., Astete, R., Enriquez, P., & Chamorro, J. (2018). Chapter 17—Indicators of Good Agricultural Practices in Viticulture. En B. Maestroni & A. Cannavan (Eds.), *Integrated Analytical Approaches for Pesticide Management* (pp. 261-270). Academic Press. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-816155-5.00017-8>
- Orellana Salas, J. A., Lalvay Portilla, T. D. C., Orellana Salas, J. A., & Lalvay Portilla, T. D. C. (2018). Uso e importancia de los recursos naturales y su incidencia en el desarrollo turístico. Caso Cantón Chilla, El Oro, Ecuador. *Revista interamericana de ambiente y turismo*, 14(1), 65-79. <https://doi.org/10.4067/S0718-235X2018000100065>
- Paco Arpita, F. Y. (2022). Influencia de medidas de conservación de suelos en la erosión hídrica en la microcuenca del río temporal Escalerani—Puno. *Universidad Nacional del Altiplano*. <https://bit.ly/3Pjxwhp>
- Perales Quispilaya, A. F. (2019). Pérdida de suelo por erosión hídrica aplicando el modelo rusle en la cuenca del río Supte Grande, provincia Leoncio Prado—Huánuco. *Universidad Nacional Agraria de la Selva*. <https://bit.ly/3JSG3qg>
- Pérez-Salinas, J. E., Rodríguez, F. R., López-Santos, A., Torres-González, J. A., Meraz-Jiménez, A. de J., Díaz-Romo, A., Valdivia-Martínez, O., Pérez-Salinas, J. E., Rodríguez, F. R., López-Santos, A., Torres-González, J. A., Meraz-Jiménez, A. de J., Díaz-Romo, A., & Valdivia-Martínez, O. (2019). Erodabilidad y riesgo de erosión de suelos negros del centro de México: Estudio de un Phaozem. *Terra Latinoamericana*, 37(4), 391-400. <https://doi.org/10.28940/terra.v37i4.531>

- Pham, T. G., Degener, J., & Kappas, M. (2018). Integrated universal soil loss equation (USLE) and Geographical Information System (GIS) for soil erosion estimation in A Sap basin: Central Vietnam. *International Soil and Water Conservation Research*, 6(2), 99-110. <https://doi.org/10.1016/j.iswcr.2018.01.001>
- Prado-Hernández, J. V., Rivera-Ruiz, P., León-Mojarro, B. de, Carrillo-García, M., Martínez-Ruiz, A., Prado-Hernández, J. V., Rivera-Ruiz, P., León-Mojarro, B. de, Carrillo-García, M., & Martínez-Ruiz, A. (2017). Calibración de los modelos de pérdidas de suelo usle y musle en una cuenca forestal de México: Caso El Malacate. *Agrociencia*, 51(3), 265-284.
- Providencia, A. (06 de junio de 2023). *Cómo prevenir la erosión del suelo en la agricultura*. Obtenido de Ambiente Adelante: <https://es.environmentgo.com/how-to-prevent-soil-erosion-in-farming/>
- Puerta, C. E., & Veneros, J. (2018). 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 [Thesis, Universidad Nacional Toribio Rodríguez de Mendoza - UNTRM]. En *Universidad Nacional Toribio Rodríguez de Mendoza—UNTRM*. <https://bit.ly/3pgMmL6>
- Quiñonez, J. F. (2019). Estimación de la erosión hídrica potencial en la cuenca media y alta del río Rímac, aplicación del modelo Rusle. *Universidad Nacional Mayor de San Marcos*. <https://bit.ly/3plvLpb>
- Quispe, T. C. (2018). *Influencia de la cobertura vegetal En La Erosión Hídrica del Suelo en La Comunidad de San Mateo, Perú*. 76.
- Ramos, C. (2001). Modelamiento ambiental para análisis de susceptibilidad erosiva en la cuenca media y alta del río Cañete y determinación del mapa de erosión. Universidad Nacional Agraria La Malina. Lima - Perú. 30 pp.

- Rengifo-Rengifo, I.-Y., Muñoz-Gomez, F.-A., Toro-Trochez, O.-A., Rengifo-Rengifo, I.-Y., Muñoz-Gomez, F.-A., & Toro-Trochez, O.-A. (2022). Modelo USLE para estimar la erosión hídrica en siete municipios de la zona andina colombiana. *Biotecnología en el Sector Agropecuario y Agroindustrial*, 20(2), 29-44. <https://bit.ly/3AhuoOE>
- Rodriguez Souilla, J. (2020). *Efecto de los incendios forestales sobre la pérdida de suelo superficial por erosión hídrica en la Cuenca del Arroyo Ventana*. <https://doi.org/10.13140/RG.2.2.11960.16642>
- Roy, P. (2019). Application of USLE in a GIS environment to estimate soil erosion in the Irga watershed, Jharkhand, India. *Physical Geography*, 40(4), 361-383. <https://doi.org/10.1080/02723646.2018.1550301>
- Ruiz Montenegro, P. (2019). *Erosion superficial hidrica en capas de revestimiento en vias terciarias en Piedecuesta-Santander*. Bucaramanga.
- Reyes Palomino, E. S., & Cano Ccoa, D. M. (2022). Efectos de la agricultura intensiva y el cambio climático sobre la biodiversidad. *Altoandina*, XXIV(1). <https://doi.org/http://dx.doi.org/10.18271/ria.2022.328>
- Sabino Rojas, E., Felipe-Obando, O., & Lavado-Casimiro, W. (2017). Atlas de erosión de suelos por regiones hidrológicas del Perú. Nota Técnica N° 002 SENAMHI-DHI-2017. *Repositorio Institucional - SENAMHI*. <http://repositorio.senamhi.gob.pe/handle/20.500.12542/261>
- Safdar, B., & Bidi, i. (2017). Conservacion de agua y suelo. *ResearchGate*, 35-75.

- Secretaría Nacional de Planificación y Desarrollo. (2011). *Memoria Técnica Cantón Portoviejo Proyecto: Generación De Geoinformación Para La Gestión Del Territorio A Nivel Nacional Escala 1:25.000; Clima E Hidrología*. <https://bit.ly/3peT5F8>
- Sharpley, A. N. & Williams, J. R. Epic - Erosion/Productivity Impact Calculator: 1. Model Documentation. U.S. Department of Agriculture Technical Bulletin, v. 1768, p. 235 pp., 1990.
- Suárez-Aguilar, Z. E., Sepúlveda-Delgado, O., Patarroyo-Mesa, M., Canaria-Camargo, L. C., Suárez-Aguilar, Z. E., Sepúlveda-Delgado, O., Patarroyo-Mesa, M., & Canaria-Camargo, L. C. (2020). Modelo matemático para estimar curvas de intensidad, duración y frecuencia de lluvias extremas en Tunja, Colombia. *Información tecnológica*, 31(1), 193-206. <https://doi.org/10.4067/S0718-07642020000100193>
- Suleiman, M. S., Wasonga, O. V., Mbau, J. S., & Elhadi, Y. A. (2017). Spatial and temporal analysis of forest cover change in Falgore Game Reserve in Kano, Nigeria. *Ecological Processes*, 6(1), 11. <https://doi.org/10.1186/s13717-017-0078-4>
- Susana, Y. S. (2010). *Determinación de la erosión hídrica potencial de los suelos de la cuenca inferior del río Bermejo, Salta - Jujuy*. Salta, Argentina: Universidad Nacional de Salta.
- Teixeira Guerra, A. J., & Olivera Jorge. (2014). *Proceso Erosivos Y Recuperación De Áreas Degradadas* (Vol. 1). [https://www.researchgate.net/publication/279545400\\_Processos\\_Erosivos\\_e\\_Recuperacion\\_de\\_Areas\\_Degradadas](https://www.researchgate.net/publication/279545400_Processos_Erosivos_e_Recuperacion_de_Areas_Degradadas)
- Tesfaye, G., Debebe, Y., & Fikirie, K. (2018). *Soil Erosion Risk Assessment Using GIS Based USLE Model for Soil and Water Conservation Planning in Somodo Watershed, South West Ethiopia*. 10.

- Thapa, P. (2020). Spatial estimation of soil erosion using RUSLE modeling: A case study of Dolakha district, Nepal. *Environmental Systems Research*, 9(1), 15. <https://doi.org/10.1186/s40068-020-00177-2>
- Vargas Encalada, E. E., Rengifo Lozano, R. A., Guizado Oscoco, F., & Sánchez Aguirre, F. D. M. (2019). Sistemas de información como herramienta para reorganizar procesos de manufactura. *Revista Venezolana de Gerencia*, 24(85). <https://bit.ly/3AiiYKL>
- Vargas Diaz, R. E., Varón Ramírez, V. M., Estupiñan Casallas, J. M., Lesmes Suárez, J. C., Barona Rodriguez, A. F., & Franco Florez, C. V. (2023). Cuantificación de la pérdida de suelo por escorrentía bajo dos metodologías de labranza en la producción de caña de azúcar para la elaboración de panela. *Siembra*, X(2). <https://doi.org/https://doi.org/10.29166/siembra.v10i2.5435>
- Vasquez, C. (2012). Estudio hidrológico de la Región Cajamarca. En *Repositorio Digital de Recursos Hídricos*.
- Viorato Romero, N. S., & Reyes García, V. (2019). La ética en la investigación cualitativa. *Revista CuidArte*, 8(16), Article 16. <https://bit.ly/3Qjt2c3>
- Wang, Y., Dong, Y., Su, Z., Mudd, S. M., Zheng, Q., Hu, G., & Yan, D. (2020). Spatial distribution of water and wind erosion and their influence on the soil quality at the agropastoral ecotone of North China. *International Soil and Water Conservation Research*, 8(3), 253-265. <https://doi.org/10.1016/j.iswcr.2020.05.001>
- Xiong, M., Sun, R., & Chen, L. (2019). A global comparison of soil erosion associated with land use and climate type. *Geoderma*, 343, 31-39. <https://doi.org/10.1016/j.geoderma.2019.02.013>

Zhang, J., Ge, Y., Yuan, G., & Song, Z. (2022). Consideration of high-quality development strategies for soil and water conservation on the loess plateau. *Scientific Reports*, 12(1), 8336. <https://bit.ly/3AjHJX0>

Zhu, Yuan, Lu, Wang, Du, Kumar & Liu (2023). Erosión por salpicadura del suelo: un problema desatendido en las plantaciones de caucho sostenibles en la región tropical de China. <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2095633922000399?via%3Dihub>

CAPÍTULO VII. ANEXOS

ANEXO 1

MATRIZ DE CONSISTENCIA

Titulo	Problema	Objetivos	Hipótesis	Variable	Dimensiones	Indicadores	Tipo y Diseño	técnicas e instrumentos de recolección de datos
<p>"ESTIMACIÓN DE LA EROSIÓN HÍDRICA UTILIZANDO EL MODELO USLE EN LA MICROCUENCA DOÑANA, CHOTA - CAJAMARCA"</p>	<p><b>Problema General</b> ¿Cuál es el grado de erosión hídrica o pérdida de suelo en la microcuenca Doñana del distrito de Chota, según el modelo USLE? <b>Problemas específicos</b> - ¿Calcular los factores del modelo de la ecuación Universal de Pérdida de Suelo (USLE) para estimar la erosión hídrica en la microcuenca Doñana del distrito de Chota del departamento de Cajamarca? - ¿Calcular las zonas vulnerables según el grado de la erosión hídrica en la microcuenca Doñana del distrito de Chota del departamento de Cajamarca? - ¿Qué cantidad de suelo se pierde anualmente por la erosión hídrica en la microcuenca Doñana del distrito de Chota del departamento de Cajamarca?</p>	<p><b>Objetivo General</b> - Determinar el grado de la erosión hídrica o pérdida de suelo mediante el uso del modelo USLE en la microcuenca Doñana del distrito de Chota. <b>Objetivos Específicos</b> - Determinar los factores del modelo de la ecuación Universal de Pérdida de Suelo (USLE) para el cálculo de la erosión hídrica en la microcuenca Doñana del distrito de Chota del departamento de Cajamarca. - Identificar las zonas vulnerables según el grado de la erosión hídrica en la microcuenca Doñana del distrito de Chota del departamento de Cajamarca. - Determinar la cantidad de suelo que se pierde en t/ha/año en la microcuenca Doñana del distrito de Chota del departamento de Cajamarca.</p>	<p><b>HO:</b> Existe erosión hídrica en la microcuenca Doñana, Chota-Cajamarca. <b>HA:</b> No existe erosión hídrica en la microcuenca Doñana, Chota-Cajamarca.</p>	<p>Erosión hídrica del suelo</p>	<p>Factor de erosividad (R)</p>	<p>Volumen de precipitación</p>	<p><b>Tipo de investigación</b> Esta investigación es de tipo básico, ya que explora nuevos campos de estudio sin un objetivo práctico e inmediato en el área de investigación. Es de carácter no experimental, dado que no se manipulan deliberadamente las variables. Por lo tanto, se clasifica como un estudio no experimental de tipo longitudinal. <b>Diseño de investigación</b> El diseño de este estudio no es experimental, dado que no se manipuló la variable independiente, debido a que los fenómenos de interés ya han ocurrido. El enfoque metodológico se limita a la observación y descripción del comportamiento de la variable independiente y su relación con la variable dependiente en un momento específico en el tiempo, con el fin de interpretar los resultados obtenidos.</p>	<p>Se realizó el análisis de correlación de los factores principales con el objetivo de explicar y predecir las relaciones entre variables y entre unidades de análisis. El procesamiento de los datos se realizó mediante el software GIS mediante ecuaciones algebraicas. Microsoft Excel se utilizó para la generación de gráficos como los histogramas de los datos obtenidos en el software QGIS de los factores de ecuación.</p>
					<p>Factor de la erodabilidad del suelo (K)</p>	<p>Kg de suelo perdido por unidad de superficie</p>		
					<p>Factor topográfico del suelo (LS)</p>	<p>Longitud de la cuenca Grado de la pendiente Velocidad del flujo del agua</p>		
					<p>Factor del manejo de vegetación, cobertura y uso del suelo (C)</p>	<p>Índice de intercepción del cultivo según la especie vegetal</p>		
					<p>Factor de prácticas de conservación (P)</p>	<p>Curvas de nivel Cultivos de franjas Barreras vivas y muertas Acequias de infiltración terrazas</p>		

## ANEXO 2

## RESULTADOS DE TEXTURA Y MATERIA ORGÁNICA DEL LABORATORIO DE LA INIA



LABORATORIO DE ENSAYO ACREDITADO POR  
EL ORGANISMO DE ACREDITACIÓN INACAL - DA  
CON REGISTRO N° LE - 200



**INFORME DE ENSAYO**  
N° 121154-23/SU/ LABSAF - BAÑOS DEL INCA

## I. INFORMACIÓN GENERAL

Cliente : JORDAN STEVE LOZANO DELGADO  
Propietario / Productor : JHAN FRANLY DIAZ RUBIO  
Dirección del cliente\* : PROLONGACION PACHACUTEC N° 1167 - CAJAMARCA  
Solicitado por : Cliente  
Muestreado por : Cliente  
Número de muestra(s) : 04 muestras  
Producto declarado : Suelo Agrícola  
Presentación de las muestras(s) : Bolsa de plástico  
Referencia del muestreo : Reservado por el Cliente  
Procedencia de muestra(s)\* : CAMPAMENTO TUNEL CONGHANO - CHOTA - CHOTA - CAJAMARCA  
Fecha(s) de muestreo\* : 20/10/2023  
Fecha de recepción de muestra(s)\* : 06/11/2023  
Lugar de ensayo : Laboratorio de Suelos, Aguas y Foliaves - LABSAF Baños del Inca  
Fecha(s) de análisis : 15/12/2023  
Cotización del servicio : 363-23-BI  
Fecha de emisión : 28/12/2023

## II. RESULTADO DE ANÁLISIS

ITEM	1	2	3	4		
Código de Laboratorio	SU1419-BI-23	SU1420-BI-23	SU1421-BI-23	SU1422-BI-23		
Matriz Analizada	Suelo	Suelo	Suelo	Suelo		
Fecha de Muestreo*	20/10/2023	20/10/2023	20/10/2023	20/10/2023		
Hora de Inicio de Muestreo (h)*	10:00	10:00	10:00	10:00		
Condición de la muestra	Conservada	Conservada	Conservada	Conservada		
Código/identificación de la Muestra por el Cliente	Phaeozem (H)	Phaeozem - Leptosol (H-L)	Leptosol (L)	Cambisol - Leptosol (B-L)		
<b>Ensayo</b>	<b>Unidad</b>	<b>LC</b>	<b>Resultados</b>			
Materia Orgánica	%	0,1	6,2	5,8	2,4	5,8
<b>Análisis de Textura</b>						
Árena (**)	%	--	29	35	25	33
Limo (**)	%	--	43	33	45	33
Arcilla (**)	%	--	28	32	30	34
Clase Textural (**)	--	--	Arcilloso	Franco Arcilloso	Arcilloso	Franco Arcilloso

## III. METODOLOGÍA DE ENSAYO

ENSAYO	NORMA DE REFERENCIA
Textura	Norma Oficial Mexicana NOM-021-RECNAT-2000 Segunda Sección (31 de Diciembre 2002) ítem 7.1.9 AS-06 2000. Determinación de la textura del suelo por procedimiento de Bouyoucos.
Materia Orgánica	Norma Oficial Mexicana NOM-021-RECNAT-2000 Segunda Sección (31 de Diciembre 2002) ítem 7.1.7 AS-07 2000. Contenido de Materia Orgánica por el método de Walkley y Black.



Firmado digitalmente por  
FLORIAN ALCANTARA  
Amarante Nicolas FAU 20131385964  
soft  
Motivo: Por encargo  
Fecha: 28/12/2023 14:21:50-0500



Red de Laboratorios de Suelos, Aguas y Foliaves  
Acreditado con la Norma  
NTP-ISO/IEC 17025:2017  
Dirección: Jr. Wiracocha s/n Baños del Inca, Cajamarca - Cajamarca

Página 1 de 2  
F-46 / Ver.04  
www.inia.gob.pe

## ANEXO 3

## RESULTADOS DE LOS ANÁLISIS ESTADÍSTICOS DE LOS DATOS DE PRECIPITACIÓN DE LAS ESTACIONES METEREOLÓGICAS

Figura 21

*Histograma de precipitación anual de la estación meteorológica Bambamarca*

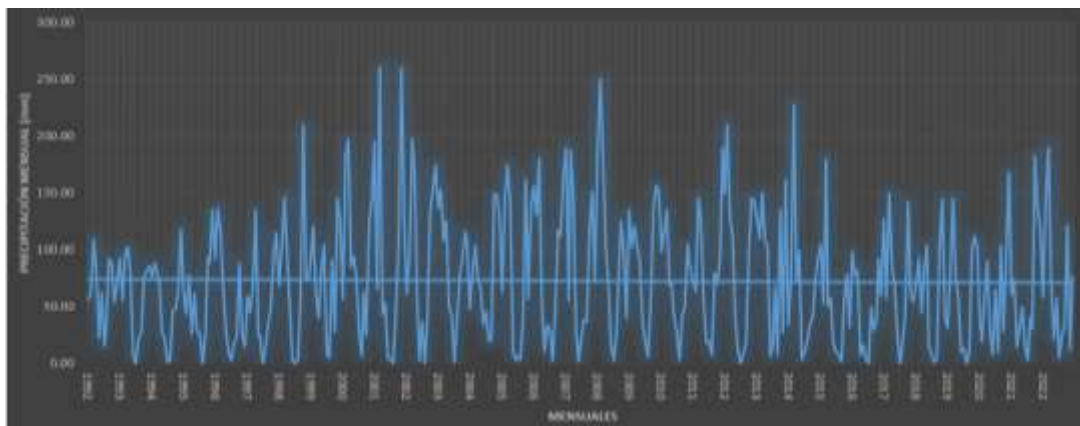


Figura 22

*Prueba "T" de Student de la estación meteorológica Bambamarca*

PRUEBA "T" DE STUDENT	
Desviación estándar ponderada	33.99
Desviación de las diferencias de los promedios	3.54
Cálculo del T, calculado (Tc) según:	1.89
Calculo del valor critico de t, tabular Tt:	1.97
Grados de libertad	370.00
<b>Conclusión:</b>	
$ t_c  = 1.89$	$< T_t = 1.9664$ <b>HOMOGENEIDAD OK</b>

Figura 23

*Prueba "F" de Fisher de la estación meteorológica Bambamarca*

PRUEBA "F" DE FISHER	
Cálculo de F calculado (Fc)según :	1.28
Calculo del F tabular( valor critico de Ft) Ft	1.278
<b>Conclusión:</b>	
$F_c = 1.28$	$< F_t = 1.28$ <b>HOMOGENEIDAD OK</b>

Figura 24

Histograma de precipitación anual de la estación meteorológica Chota

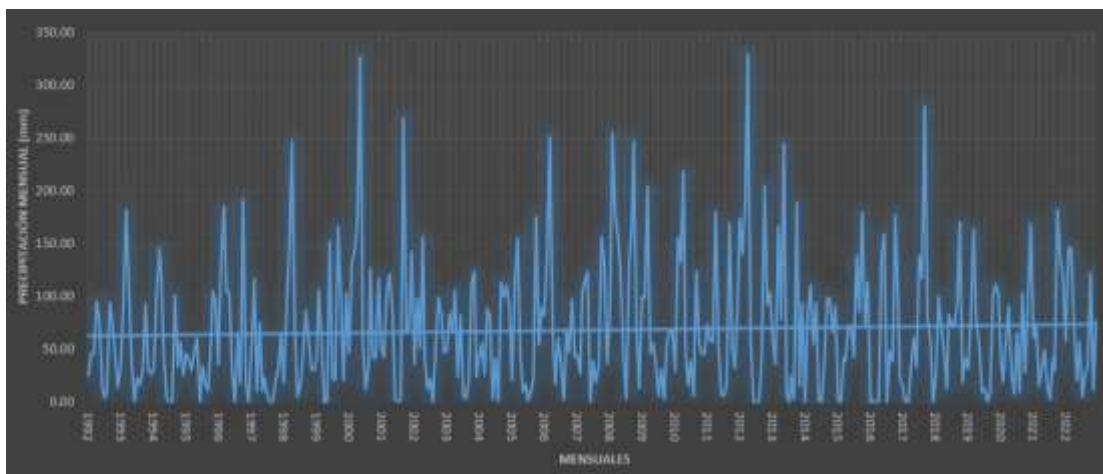


Figura 25

Prueba "T" de Student de la estación meteorológica Chota

PRUEBA "T" DE STUDENT	
Desviación estándar ponderada	42.34
Desviación de las diferencias de los promedios	4.41
Cálculo del T, calculado (Tc) según:	0.15
Calculo del valor critico de t, tabular Tt:	1.97
Grados de libertad	370.00
<b>Conclusión:</b>	
$ t_c  = 0.15$	$< T_t = 1.9664$ <b>HOMOGENEIDAD OK</b>
PRUEBA "F" DE FISHER	

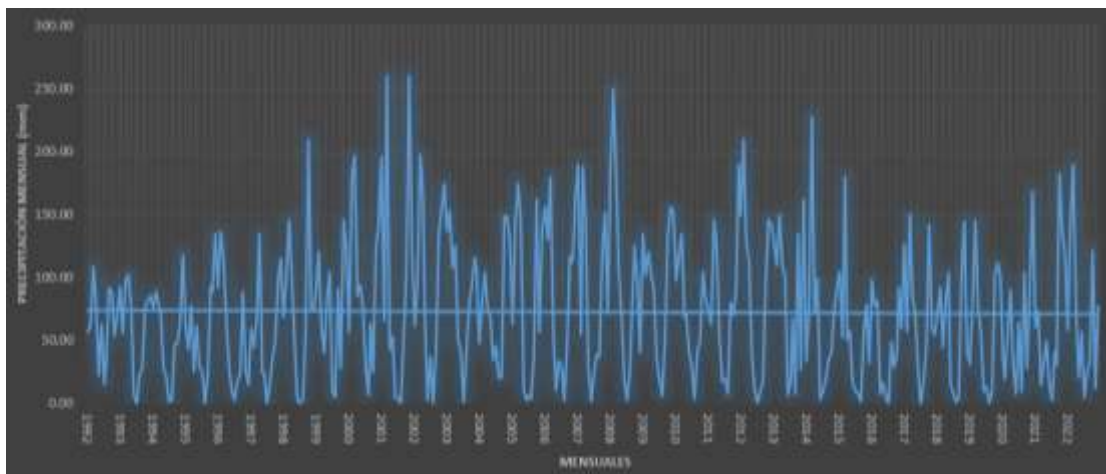
Figura 26

Prueba "F" de Fisher de la estación meteorológica Chota

PRUEBA "F" DE FISHER	
Cálculo de F calculado (Fc)según :	1.10
Calculo del F tabular( valor critico de Ft) Ft	1.278
<b>Conclusión:</b>	
$F_c = 1.10$	$< F_t = 1.28$ <b>HOMOGENEIDAD OK</b>

**Figura 27**

*Histograma de precipitación anual de la estación meteorológica Cochabamba*

**Figura 28**

*Prueba "T" de Student de la estación meteorológica Cochabamba*

PRUEBA "T" DE STUDENT	
Desviación estándar ponderada	33.99
Desviación de las diferencias de los promedios	3.54
Cálculo del T, calculado (Tc) según:	1.89
Calculo del valor critico de t, tabular Tt:	1.97
Grados de libertad	370.00
<b>Conclusión:</b>	
$ t_c  = 1.89$	$< T_t = 1.9664$ <b>HOMOGENEIDAD OK</b>

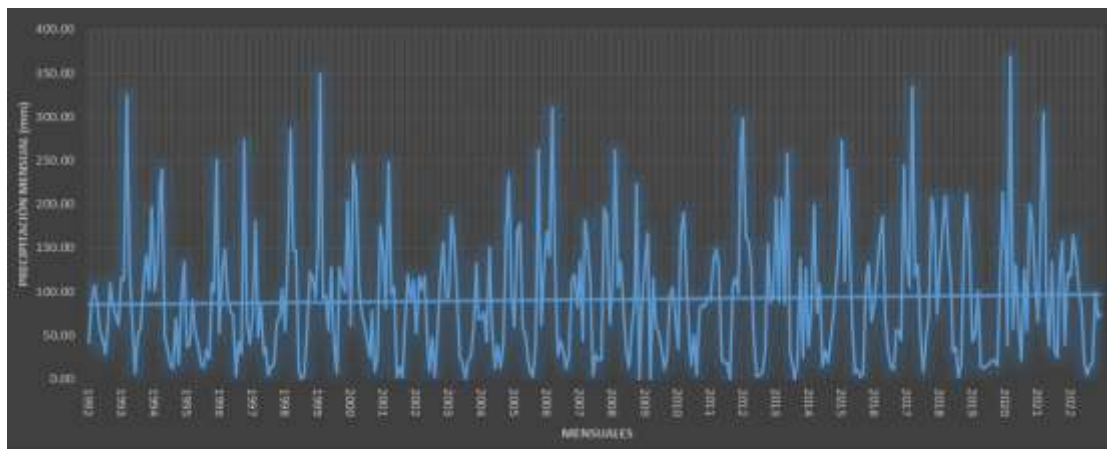
**Figura 29**

*Prueba "F" de Fisher de la estación meteorológica Cochabamba*

PRUEBA "F" DE FISHER	
Cálculo de F calculado (Fc)según :	1.28
Calculo del F tabular( valor critico de Ft) Ft	1.278
<b>Conclusión:</b>	
$F_C = 1.28$	$< F_t = 1.28$ <b>HOMOGENEIDAD OK</b>

**Figura 30**

*Histograma de precipitación anual de la estación meteorológica Cutervo*

**Figura 31**

*Prueba "T" de Student de la estación meteorológica Cutervo*

PRUEBA "T" DE STUDENT	
Desviación estándar ponderada	67.36
Desviación de las diferencias de los promedios	7.02
Cálculo del T, calculado (Tc) según:	1.94
Calculo del valor critico de t, tabular Tt:	1.97
Grados de libertad	370.00
<b>Conclusión:</b>	
$ t_c  = 1.94$	$< T_t = 1.9664$ <b>HOMOGENEIDAD OK</b>
PRUEBA "F" DE FISHER	

**Figura 32**

*Prueba "F" de Fisher de la estación meteorológica Cutervo*

PRUEBA "F" DE FISHER	
Cálculo de F calculado (Fc)según :	1.24
Calculo del F tabular( valor critico de Ft) Ft	1.278
<b>Conclusión:</b>	
$F_C = 1.24$	$< F_t = 1.28$ <b>HOMOGENEIDAD OK</b>

## ANEXO 4

## FOTOGRAFÍAS DE LA RECOLECCIÓN DE MUESTRAS



