

UNIVERSIDAD NACIONAL DE CAJAMARCA

ESCUELA DE POSGRADO



**UNIDAD DE POSGRADO DE LA FACULTAD DE CIENCIAS
AGRARIAS**

PROGRAMA DE DOCTORADO EN CIENCIAS

TESIS:

**EVALUACIÓN DE LA EROSIÓN HÍDRICA, MEDIANTE PARCELAS
CON CLAVOS DE EROSIÓN, EN FUNCIÓN DE LA PENDIENTE, LA
COBERTURA VEGETAL Y PRECIPITACIÓN, EN LLUÑIBAMBA,
JESÚS, CAJAMARCA**

Para optar el Grado Académico de

DOCTOR EN CIENCIAS

MENCIÓN: GESTIÓN AMBIENTAL Y RECURSOS NATURALES

Presentada por:

M.Sc. ALBERTICO ALADINO BADA ALDAVE

Asesor:

Dr. EDIN EDGARDO ALVA PLASENCIA

Cajamarca, Perú

2023

COPYRIGHT © 2023 by
ALBERTICO ALADINO BADA ALDAVE
Todos los derechos reservados

UNIVERSIDAD NACIONAL DE CAJAMARCA

ESCUELA DE POSGRADO



UNIDAD DE POSGRADO DE LA FACULTAD DE CIENCIAS AGRARIAS

PROGRAMA DE DOCTORADO EN CIENCIAS

TESIS APROBADA:

**EVALUACIÓN DE LA EROSIÓN HÍDRICA, MEDIANTE PARCELAS
CON CLAVOS DE EROSIÓN, EN FUNCIÓN DE LA PENDIENTE, LA
COBERTURA VEGETAL Y PRECIPITACIÓN, EN LLUÑIBAMBA,
JESÚS, CAJAMARCA**

Para optar el Grado Académico de

DOCTOR EN CIENCIAS

MENCIÓN: GESTIÓN AMBIENTAL Y RECURSOS NATURALES

Presentada por:

M.Sc. ALBERTICO ALADINO BADA ALDAVE

JURADO EVALUADOR

Dr. Edin Edgardo Alva Plasencia
Asesor

Dr. Juan Francisco Seminario Cunya
Jurado Evaluador

Dra. Rosa Haydee Llique Mondragón
Jurado Evaluador

Dr. José Francisco Huamán Vidaurre
Jurado Evaluador

Cajamarca, Perú

2023



Universidad Nacional de Cajamarca
LICENCIADA CON RESOLUCIÓN DE CONSEJO DIRECTIVO N° 080-2018-SUNEDU/CD
Escuela de Posgrado
CAJAMARCA - PERU



PROGRAMA DE DOCTORADO EN CIENCIAS

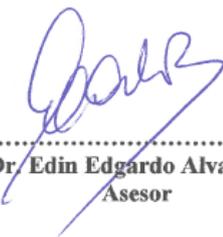
ACTA DE SUSTENTACIÓN DE TESIS

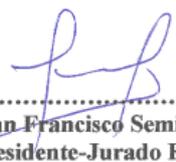
MENCIÓN: GESTIÓN AMBIENTAL Y RECURSOS NATURALES

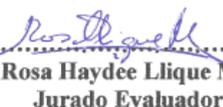
Siendo las 11 horas, del día 19 de mayo del año dos mil veintitrés, reunidos en el Auditorio de la Escuela de Posgrado de la Universidad Nacional de Cajamarca, el Jurado Evaluador presidido por el Dr. JUAN FRANCISCO SEMINARIO CUNYA, Dra. ROSA HAYDEE LLIQUE MONDRAGÓN, Dr. JOSÉ FRANCISCO HUAMÁN VIDAURRE y en calidad de Asesor, el Dr. EDIN EDGARDO ALVA PLASENCIA Actuando de conformidad con el Reglamento Interno de la Escuela de Posgrado y el Reglamento del Programa de Doctorado de la Escuela de Posgrado de la Universidad Nacional de Cajamarca, se inició la SUSTENTACIÓN de la tesis titulada: **EVALUACIÓN DE LA EROSIÓN HÍDRICA, MEDIANTE PARCELAS CON CLAVOS DE EROSIÓN, EN FUNCIÓN DE LA PENDIENTE, LA COBERTURA VEGETAL Y PRECIPITACIÓN, EN LLUÑIBAMBA, JESUS, CAJAMARCA**; presentada por el Maestro en Ciencias Recursos Naturales **ALBERTICO ALADINO BADA ALDAVE**

Realizada la exposición de la Tesis y absueltas las preguntas formuladas por el Jurado Evaluador, y luego de la deliberación, se acordó A. PROBAR. POR UNANIMIDAD con la calificación de Dieciocho (18) Excelente la mencionada Tesis; en tal virtud, el Maestro en Ciencias Recursos Naturales **ALBERTICO ALADINO BADA ALDAVE**, está apto para recibir en ceremonia especial el Diploma que la acredita como **DOCTOR EN CIENCIAS**, de la Unidad de Posgrado de la Facultad de Ciencias Agrarias, Mención **GESTIÓN AMBIENTAL Y RECURSOS NATURALES**

Siendo las 12:30 horas del mismo día, se dio por concluido el acto.


.....
Dr. Edin Edgardo Alva Plasencia
Asesor


.....
Dr. Juan Francisco Seminario Cunya
Presidente-Jurado Evaluador


.....
Dra. Rosa Haydee Llique Mondragón
Jurado Evaluador


.....
Dr. José Francisco Huamán Vidaurre
Jurado Evaluador

A:

Dios en primer lugar por darme la vida, la fortaleza y las ganas de seguir luchando, a mi esposa María Julia Pérez, padres Segundo Bada y Rita Aldave, por su dedicación, apoyo incondicional y sobre todo por inculcarme a ser cada día una mejor persona; a mis grandes amores de mi vida mis hijos Rossella y Albertico por ser la fuente de mi inspiración y la fuerza de mi ser, para seguir adelante.

AGRADECIMIENTOS

A la Universidad Nacional de Cajamarca y la Facultad Educación, por el apoyo constante en hacer realidad este trabajo de investigación.

Al Doctor Edin Edgardo Alva Plasencia, por sus consejos y eficaz orientación, en la culminación del presente trabajo. A los integrantes del Comité Científico: Dr. Juan Seminario Cunya, Dra. Rosa Haydee Llique Mondragón, Dr. Francisco Huamán Vidaurre, quienes oportunamente me apoyaron para desarrollar en forma satisfactoria esta tesis.

ÍNDICE DE CONTENIDOS

CAPÍTULO I.....	1
INTRODUCCIÓN	1
1.1 Objetivos	2
1.1.1 Objetivo general.....	2
1.1.2 Objetivos específicos	2
CAPÍTULO II.....	3
MARCO TEORICO	3
2.1. Antecedentes.	3
2.1.1. A nivel internacional.....	3
2.1.2. A nivel nacional.....	7
2.1.3. A nivel local.....	10
2.2. Bases teóricas	10
2.2.1. Erosión hídrica.....	10
2.2.2. Efectos de la erosión.....	10
2.3. Tipos de erosión hídrica.....	11
2.3.1. Erosión por salpicadura.	11
2.3.2. Erosión por surcos o regueros.	12
2.3.3. Erosión en barrancos o cárcavas.....	12
2.3.4. Erosión en bancos aluviales	12
2.4. Clases de erosión	13
2.4.1. La erosión geológica.....	13
2.4.2. Erosión antrópica o acelerada	13

2.5.	Causas de la erosión.....	13
2.5.1.	La deforestación.....	13
2.5.2.	Prácticas agrarias incorrectas	13
2.5.3.	Las sequías	14
2.5.4.	El cambio climático.....	14
2.6.	Medición de la erosión	15
2.6.1.	Modelos cuantitativos.	16
2.7.	Ventajas.....	17
2.8.	Precipitación	17
2.9.	Desventaja	18
2.10.	Medida de la precipitación.....	18
2.11.	Características de la precipitación.....	19
2.11.1.	Cantidad.....	19
2.11.2.	Intensidad, duración y frecuencia.	19
2.12.	Propiedades físicas del suelo	20
2.12.1.	Estructura del suelo.	20
2.12.2.	Textura del suelo.....	20
2.12.3.	Densidad aparente.	21
2.13.	Beneficios de la vegetación en el control de la erosión	22
2.14.	Principales funciones de la vegetación.....	22
2.15.	Definición de terminos básicos	23

CAPÍTULO III.....	24
MATERIALES Y MÉTODOS	24
3.1. Ubicación.....	24
3.1.1. Zona de estudio	24
3.1.2. Ubicación geográfica.....	24
3.1.3. Ubicación del experimento	26
3.2. Factores, niveles y tratamientos del estudio.....	26
3.3. Diseño experimental.....	27
3.4. Equipos y materiales	30
3.4.1. Equipos.....	30
3.4.2. Materiales.....	30
3.5. Metodología.....	30
3.6. Evaluación de la cobertura	34
3.7. Evaluación de la flora	34
3.7.1. Equipos y materiales.....	34
3.7.2. Metodología.....	35
3.8. Laboratorio	37
3.8.1. Densidad aparente.	37
3.8.2. Textura del suelo por método de Bouyoucos	39
3.9. Estimación del suelo erosionado	40
3.10. Determinación de la cobertura Vegetal	41

CAPÍTULO IV	42
RESULTADOS Y DISCUSIÓN	42
4.1. Densidad aparente	42
4.2. Textura del suelo	43
4.3. Evaluación de la erosión hídrica del suelo	44
4.4. Evaluación de la erosión hídrica del suelo en función de la precipitación	53
4.5. Contrastación de hipótesis	58
4.5.1. Pendiente	58
4.5.2. Cobertura vegetal	58
4.5.3. Nivel de precipitación	59
CAPÍTULO V	60
CONCLUSIONES	60
CAPÍTULO VI	62
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	62
CAPÍTULO VII	66
ANEXOS	66
7.1. Densidad aparente	66
7.2. Textura del suelo	67
7.3. Cobertura vegetal	68
7.4. Medición de la erosión	77
7.5. Fotografías	105

LISTA DE TABLAS

Tabla 1 Factores o variables independientes, niveles y tratamientos en estudio	27
Tabla 2 Valores de la densidad aparente	42
Tabla 3 Consolidado de textura del suelo	43
Tabla 4 Análisis de varianza (ANOVA) para la erosión hídrica del suelo en función de la pendiente y la cobertura vegetal en Lluñibamba, Jesús, Cajamarca	44
Tabla 5 La erosión hídrica del suelo en función de la pendiente y la cobertura vegetal en Lluñibamba, Jesús, Cajamarca.....	46
Tabla 6 La erosión hídrica del suelo en función de la pendiente en Lluñibamba, Jesús, Cajamarca	48
Tabla 7 La erosión hídrica del suelo en función de la cobertura vegetal en Lluñibamba, Jesús, Cajamarca	49
Tabla 8 Resultados consolidados de las evaluaciones de la erosión hídrica del suelo con cobertura de trigo y pasto natural.....	51
Tabla 9 Análisis de varianza (ANOVA) para la regresión de la erosión hídrica y precipitación.....	53
Tabla 10 Resultados de las evaluaciones de la erosión hídrica del suelo durante el período de experimentación.....	56
Tabla 11 Densidad aparente en las parcelas	66
Tabla 12 Textura del suelo en las parcelas.....	67
Tabla 13 Consolidado de coberturas vegetales de trigo y pasto natural en la parcela 1	68
Tabla 14 Consolidado coberturas vegetales de trigo y pasto natural en la parcela 2	69
Tabla 15 Consolidado de coberturas vegetales de trigo y pasto natural en la parcela 3	70
Tabla 16 Cobertura vegetal de trigo	71
Tabla 17 Cobertura vegetal de pasto natural	72
Tabla 18 Cobertura vegetal de trigo	73
Tabla 19 Cobertura vegetal de pasto natural	74
Tabla 20 Cobertura vegetal de trigo	75
Tabla 21 Cobertura vegetal de pasto natural	76
Tabla 22 Mediciones de los clavos de erosión en la parcela 1 con trigo y pasto natural	77
Tabla 23 Mediciones de los clavos de erosión en la parcela 1 con trigo y pasto natural	78
Tabla 24 Mediciones de los clavos de erosión en la parcela 1 con trigo y pasto natural	79
Tabla 25 Mediciones de los clavos de erosión en la parcela 1 con trigo y pasto natural	80
Tabla 26 Mediciones de los clavos de erosión en la parcela 1 con trigo y pasto natural	81
Tabla 27 Mediciones de los clavos de erosión en la parcela 1 con trigo y pasto natural	82
Tabla 28 Mediciones de los clavos de erosión en la parcela 1 con trigo y pasto natural	83

Tabla 29 Mediciones de los clavos de erosión en la parcela 1 con trigo y pasto natural	84
Tabla 30 Mediciones de los clavos de erosión en la parcela 1 con trigo y pasto natural	85
Tabla 31 Mediciones de los clavos de erosión en la parcela 2 con trigo y pasto natural	86
Tabla 32 Mediciones de los clavos de erosión en la parcela 2 con trigo y pasto natural	87
Tabla 33 Mediciones de los clavos de erosión en la parcela 2 con trigo y pasto natural	88
Tabla 34 Mediciones de los clavos de erosión en la parcela 2 con trigo y pasto natural	89
Tabla 35 Mediciones de los clavos de erosión en la parcela 2 con trigo y pasto natural	90
Tabla 36 <i>Mediciones de los clavos de erosión en la parcela 2 con trigo y pasto natural</i>	91
Tabla 37 Mediciones de los clavos de erosión en la parcela 2 con trigo y pasto natural	92
Tabla 38 Mediciones de los clavos de erosión en la parcela 2 con trigo y pasto natural	93
Tabla 39 <i>Mediciones de los clavos de erosión en la parcela 2 con trigo y pasto natural</i>	94
Tabla 40 Mediciones de los clavos de erosión en la parcela 3 con trigo y pasto natural	95
Tabla 41 Mediciones de los clavos de erosión en la parcela 3 con trigo y pasto natural	96
Tabla 42 Mediciones de los clavos de erosión en la parcela 3 con trigo y pasto natural	97
Tabla 43 Mediciones de los clavos de erosión en la parcela 3 con trigo y pasto natural	98
Tabla 44 Mediciones de los clavos de erosión en la parcela 3 con trigo y pasto natural	99
Tabla 45 <i>Mediciones de los clavos de erosión en la parcela 3 con trigo y pasto natural</i>	100
Tabla 46 <i>Mediciones de los clavos de erosión en la parcela 3 con trigo y pasto natural</i>	101
Tabla 47 Mediciones de los clavos de erosión en la parcela 3 con trigo y pasto natural	102
Tabla 48 Mediciones de los clavos de erosión en la parcela 3 con trigo y pasto natural	103
Tabla 49 Consolidados de las evaluaciones de la pérdida de suelo (mm), en los seis tratamientos	103
Tabla 50 Consolidados de las evaluaciones de la erosión hídrica del suelo ($t\ ha^{-1}$)	104

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 Modelos para la evaluación hídrica (Adaptado de García, 2012)	16
Figura 2 Plano de Ubicación del Experimento.....	25
Figura 3 Plano de ubicación y distribución de los tratamientos.....	28
Figura 4 Diseño de una unidad experimental con sus respectivas varillas	29
Figura 5 Mediciones a realizar en los clavos de medición de erosión	33
Figura 6 Datos florísticos en campo con respecto a la vegetación	37
Figura 7 Erosión hídrica del suelo en función de la pendiente y la cobertura vegetal en Lluñibamba, Jesús, Cajamarca.....	48
Figura 8 Erosión hídrica del suelo (t ha⁻¹) versus precipitación (mm).....	54
Figura 9 Erosión hídrica del suelo (t ha⁻¹) en relación a la precipitación (mm)	55
Figura 10 Colocación de la parafina a los terrones	105
Figura 11 Lectura del Volumen desplazado en la probeta para pendientes 12,15,20%	106
Figura 12 Determinación de la textura del suelo por el método de Bouyoucos	107
Figura 13 Parcela I de trigo en pendiente 12 %.....	108
Figura 14 Parcela II de trigo en pendiente 15%	109
Figura 15 Parcela III de trigo en pendiente 20%.....	110
Figura 16 Medición de la pérdida de suelo en pendiente 12%	110
Figura 17 Medición de la pérdida de suelo en pendiente 15%	111
Figura 18 Medición de la pérdida de suelo en pendiente 20%	111
Figura 19 Pasto natural en pendiente 12%	112
Figura 20 Pasto natural en pendiente 15%	112
Figura 21 Pasto natural en pendiente 20%	113

RESUMEN

El objetivo fue determinar la erosión hídrica de suelo, mediante parcelas con clavos de erosión en función de la pendiente, cobertura vegetal y precipitación. El estudio se ubicada entre las coordenadas UTM WGS 84-Z 17: 788 259, 000 E; 9 197 458 N a 788 123,206 E; 9 197 206,494 N, altitud desde 2659 a 2702,484 m.s.n.m.; tipo de investigación fue experimental y transversal; método que se utilizó la medición de pérdida del suelo fue clavos de erosión y se utilizó un diseño con bloques completamente al azar (DBCA), con arreglo factorial de (3P x 2C). El experimento consistió de seis tratamientos con tres repeticiones por tratamiento y la dimensión de cada unidad experimental fue de 2 x 2,5 m, los tratamiento impares son de trigo y las pares de pasto natural; los mayores resultados en la erosión hídrica del suelo se obtuvo en el tratamiento cinco y pendiente de 20 % con cobertura vegetal de trigo (*Triticum aestivum*) de 0,1017 t ha⁻¹ y en el tratamiento seis con pasto natural (*Aristida adsencionis*) con 0,0604 t ha⁻¹, la menor erosión hídrica de 0,0191 t ha⁻¹ se obtuvo en el tratamiento uno y pendiente de 12 % con cobertura vegetal de trigo (*Triticum aestivum*), 0,0103 t ha⁻¹ en el tratamiento dos con pasto natural (*Aristida adsencionis*). La erosión hídrica del suelo presenta una tendencia creciente en función de la pendiente y cobertura vegetal, es decir, que a medida que la pendiente aumenta, la erosión hídrica también aumenta. Las tasas en trigo y pendientes 12% a 15% aumentan 2,66%; pendientes de 15 % a 20% aumentan 15,44%; tasas en pasto natural y pendientes 12% a 15% aumentan 3,65 % en pendientes de 15% a 20% aumentan en 14,72%.

Palabras claves: Pendiente, cobertura vegetal, precipitación, erosión hídrica del suelo

ABSTRACT

The objective was to determine the water erosion of the soil, through plots with erosion nails depending on the slope, vegetation cover and precipitation. The study is located between the coordinates UTM WGS 84-Z 17: 788 259, 000 E; 9 197 458 N to 788 123,206 E; 9 197 206,494 N, altitude from 2659 to 2702,484 m.s.n.m.; type of research was experimental and transversal; The method used to measure soil loss was erosion nails and a completely randomized block design (DBCA) was used, with a factorial arrangement of (3P x 2C). The experiment consisted of six treatments with three repetitions per treatment and the dimension of each experimental unit was 2 x 2.5 m, the odd treatments are wheat and the pairs are natural grass; The highest results in soil water erosion were obtained in treatment five and a 20 % slope with wheat (*Triticum aestivum*) plant cover of 0.1017 t ha⁻¹ and in treatment six with natural grass (*Aristida adsencionis*) with 0.0604 t ha⁻¹, the lowest water erosion of 0.0191 t ha⁻¹ was obtained in treatment one and a slope of 12 % with wheat (*Triticum aestivum*) plant cover, 0.0103 t ha⁻¹ in the treatment two with natural grass (*Aristida adsencionis*). Soil water erosion presents an increasing trend depending on the slope and vegetation cover, that is, as the slope increases, water erosion also increases. The rates in wheat and pending 12% to 15% increase 2.66%; slopes from 15% to 20% increase 15.44%; rates on natural grass and slopes from 12% to 15% increase 3.65% on slopes from 15% to 20% increase by 14.72%.

Keywords: Slope, vegetation cover, precipitation, soil water erosion

CAPÍTULO I

INTRODUCCIÓN

La erosión de los suelos es el desprendimiento y movimiento o arrastre de las partículas del suelo debido al agua, viento, los cambios de temperatura y la actividad biológica. Esta puede ser natural o geológica, antrópica o acelerada. Los principales factores que afectan este tipo de erosión en la Sierra del Perú son el agua, el clima, la topografía, el suelo, la vegetación y las catástrofes naturales. Sin embargo, las actividades del productor alto andino en la explotación de la tierra producen una erosión hídrica acelerada. Este tipo de erosión, está directamente influenciado por las condiciones de pobreza de los agricultores de la zona. Lo anterior se evidencia por el uso intensivo del suelo sin tomar en cuenta su capacidad real, el mal manejo del agua de riego, falta de rotación de cultivos, el sobrepastoreo y la falta de prácticas de conservación. En el Perú, se estima que anualmente se pierden por erosión entre 200 000 a 300 000 ha, considerando una profundidad de 20 cm. La erosión hídrica del suelo en la Sierra peruana, representa un problema importante, porque con lleva a la degradación del suelo y la reducción de las tierras cultivables, con efecto directo sobre la productividad y la economía de la región. (AGRO RURAL, 2011, p. 2)

A pesar de la importancia del problema para la sierra, existen pocos estudios sobre la erosión hídrica. Esto implica también, poco entendimiento de la magnitud de los procesos y las causas de la erosión, específicamente la Región de Cajamarca, presenta el problema de pérdida de suelo por erosión hídrica. Esto se explica en cierto modo porque los regímenes de precipitación pluvial, la pendiente, el uso y manejo del suelo son semejantes, al resto de la sierra. En consecuencia, es importante la cuantificación del fenómeno erosivo y de sus impactos en el sector agropecuario.

El presente estudio se enfocó a evaluar el efecto de las variables pendiente, cobertura de suelo y precipitación sobre la pérdida de suelo por erosión hídrica, evaluada con el modelo de parcelas con clavos de erosión.

1.1 Objetivos

1.1.1 Objetivo general

Evaluar la erosión hídrica del suelo, mediante parcelas con clavos de erosión, en función de la pendiente, la cobertura vegetal y precipitación, en Lluñibamba, Jesús, Cajamarca.

1.1.2 Objetivos específicos

- Determinar la densidad aparente y textura del suelo en las dieciocho unidades experimentales.
- Medir la erosión hídrica del suelo en las tres parcelas experimentales con tres repeticiones por tratamiento, en pendientes 12%, 15 % y 20%, cobertura (trigo, pasto natural) y precipitación.

CAPÍTULO II

MARCO TEORICO

2.1. Antecedentes.

2.1.1. A nivel internacional.

Mancilla (2006) en su trabajo de “Erosión en parcelas experimentales y redistribución de suelo mediante la concentración de ^7Be ”. En sur de Chile se instalaron, la parcela 1 clavos con residuos quemados, y parcela 3 sin quema de desechos, y se utilizaron varillas de fierro de 6 mm de diámetro y 30 cm de largo. En cada parcela se analizaron 3 transectos de 10 puntos cada uno, con un espaciamiento lateral entre ellos y de los bordes de las parcelas de 0,5 m. El espaciamiento longitudinal es cada 1 m, desde el borde inferior de la parcela. Cada clavo se enterró en el suelo dejando expuesto 100 mm sobre la superficie, siendo este valor la longitud referencial. Cualquier variación en la longitud expuesta del clavo significa erosión o sedimentación. La medición de las alturas de los clavos en terreno se efectuó con un vernier de precisión. (p.37).

Se concluyó que la erosión mediante parcelas de erosión, a través del uso de clavos de erosión y utilizando radioisótopos, específicamente Berilio (^7Be). El análisis estadístico determinó diferencias significativas entre los montos de erosión obtenidos por parcelas de erosión y mediante clavos de erosión.

Leal et al. (2007) afirman que los “Efecto de la cobertura vegetal de cultivos agrícolas principales sobre la erosión en suelos de la cuenca del río Cuyaguateje-Venezuela”, cuyo objetivo general fue establecer que los suelos junto a la cobertura vegetal juegan un papel fundamental en el régimen hidrológico de las aguas superficiales, sus evaluaciones permiten establecer medidas que garanticen la conservación de las cuencas. Con la finalidad de

establecer áreas críticas si necesario aplicar prácticas de conservación de suelos y aguas, se realizara levantamientos con fines de erosión, la zona de estudio comprende la microcuenca de las quebradas Roja y Colorada, pertenecientes a la cuenca del Pueblo Viejo, estado Zulia, Venezuela. Se analizaron imágenes aerofotográficas a escala 1:25 000 y se realizó la interpretación de los cambios de tonos y densidad de drenaje, a fin de clasificar el área de estudio de acuerdo al tipo y grado de erosión hídrica presente. Se confirmó esta información con los respectivos chequeos de campo y finalmente se generó el mapa de erosión actual. El presente estudio concluye que el uso de la tierra sin considerar su capacidad de uso es uno de los factores más importantes que promueven la erosión en el área bajo estudio, presentándose 872,27 ha (22,24%) sin erosión, 371,08 ha (9,46%) con erosión ligera, 1.908,34 ha (48,66%) con erosión moderada, 707,03 ha (18,04%) con erosión fuerte y 62,81 ha (1,60%) con erosión severa.

Patricio (2008) se dedicó a la “Evaluación de la erosión hídrica superficial por parcelas experimentales en suelos desnudos de la región de Coquimbo- Chile”, que evaluó la erosión hídrica superficial junto al conglomerado de procesos erosivos que toman lugar en la IV Región de Coquimbo, a través del método de parcelas de clavos de erosión. Los datos fueron obtenidos mediante mediciones realizadas en parcelas experimentales, en 30 sectores a lo largo de la región, durante los años 2007 y 2008, en el marco del proyecto “Restauración Hidrológico Forestal y Osificación: Herramientas Claves para el aumento de la productividad de suelos degradados de la Región de Coquimbo”, desarrollado por el Instituto Forestal y la Universidad de Talca. Junto a esto, se obtuvieron las densidades aparentes y texturas de cada suelo,

además de las lecturas de 18 pluviógrafos instalados en la región. En este sentido, se demostró a nivel general que las densidades de los suelos no difieren en demasía entre el total de sectores, sin embargo, se observó un amplio mosaico de texturas, predominando los suelos del tipo franco arenoso. Los resultados pluviométricos evidenciaron una amplia variabilidad, asimismo, se observó un leve aumento en la cuantía e intensidad de las precipitaciones al avanzar hacia el sur. Respecto a los procesos erosivos considerados (erosión, sedimentación, erosión neta y suelo movilizado) se observó una pérdida de suelo neta decreciente de Norte a Sur, lo que no fue representativo para el total de procesos, los cuales presentaron fluctuaciones. Finalmente, es importante señalar que en este estudio se trazaron los primeros lineamientos, con el fin de lograr la modelación de los procesos erosivos para la Región de Coquimbo y sus provincias, lo cual se puede lograr relacionando gráficamente los procesos 10 analizados, con las variables pluviométricas consideradas. Conclusión se encontró diferencias estadísticamente significativas entre provincias, generadas por la Provincia de Choapa. Este estudio se trazó los primeros lineamientos a fin de lograr modelar el fenómeno erosivo en la Región de Coquimbo, relacionando gráficamente los procesos estudiados con las variables pluviométricas consideradas.

Mendoza (2013) investigó la “Estimación de pérdida de suelo por erosión hídrica en microcuenca de presa Madín, México”. Uno de los factores que afectan el funcionamiento hidrológico de la microcuenca es la pérdida de suelo por erosión hídrica, lo cual disminuye la calidad y cantidad del recurso agua captado por la microcuenca y almacenado en la presa Madín. El cambio de uso de suelo, en detrimento de la cubierta vegetal, es la principal causa de

erosión hídrica en la microcuenca. Se calcula que la tasa promedio anual de erosión actual es de $7.58 \text{ t ha}^{-1}\text{año}^{-1}$ basándose en la Ecuación Universal de Pérdida de Suelo (EUPS) concentrándose en la parte media y baja de la microcuenca.

Valdez (2014) realizó la evaluación de la erosión hídrica superficial por parcelas experimentales en suelos desnudos de la Región de Coquimbo - Chile, donde el método de clavos de erosión resulta adecuado en la cuantificación y posterior análisis de la erosión hídrica superficial, al introducir nuevos conceptos que permiten establecer un balance entre pérdidas y entradas de material, en los cuales alcanzó los siguientes resultados; En la provincia de Elqui, respecto al valor máximo para erosión se logró en el sector de Tangué 1, con una lámina de 1,49 mm, equivalentes a $18,49 \text{ t ha}^{-1}$ y en sector 5 de Las Cardas, donde los 1,64 mm de altura resultaron en una erosión acumulada de $19,82 \text{ t ha}^{-1}$. Se concluyó que la provincia de Limarí, el valor máximo se alcanza en el sector de Romeralsillo, con una erosión equivalentes a 1,01 mm, es decir, $13,99 \text{ t ha}^{-1}$. p.4

Matias et al. (2020) “Factores que influyen en la erosión hídrica del suelo en un bosque templado”. Los ecosistemas forestales son importantes en la aportación de bienes y servicios a la sociedad; sin embargo, pueden estar afectados por erosión hídrica, lo cual representa un problema grave en México. Por lo tanto, el objetivo de este trabajo fue determinar los factores que explican ese tipo de degradación en un bosque templado. Para evaluar la pérdida por erosión, se utilizó la medición de pedestales. Estadísticamente, se emplearon la correlación de Pearson y el Análisis de Componentes Principales (ACP). Los resultados de la primera evidenciaron que la densidad aparente ($r= 0.64$), pendiente ($r=0.59$) y el porcentaje de rocas en la superficie del suelo ($r=0.57$)

tienen correlación positiva con la erosión hídrica; por lo que, al incrementar sus valores, aumenta la presencia de pedestales. Conclusión se determinó una correlación negativa con la profundidad ($r = -0.48$) y el porcentaje de materia orgánica ($r = -0.45$). A mayor magnitud de estos parámetros, disminuye la presencia de pedestales como expresiones del grado de erosión de los suelos. Mediante el ACP, se obtuvo que, además, incidieron directamente, el espesor del mantillo, la presencia de suelo desnudo y la compactación. Se concluyó que existió una correlación positiva con el porcentaje de suelo desnudo y la compactación. No hubo significancia con la materia orgánica, capacidad de infiltración y profundidad del suelo. Los factores señalados deben considerarse para facilitar los monitoreos futuros. Conclusión que la pendiente del sitio, espesor de mantillo, porcentaje de roca presente en la superficie, compactación y la densidad aparente presentan una correlación positiva con la erosión expresada como pedestales; de manera que, conforme aumentan su magnitud, el riesgo de presencia de pedestales se incrementa. La materia orgánica del suelo, velocidad de infiltración y profundidad del suelo registran una correlación negativa.

2.1.2. A nivel nacional

Vásquez & Tapia (2011) en su trabajo de investigación “Cuantificación de la erosión hídrica superficial en las laderas semiáridas de la Sierra Peruana”.

Determinaron la erosión hídrica en la sierra del Perú para la conservación de suelos en 22 microcuencas alto andinas de 12 regiones del país y cuantificar la pérdida de suelo por erosión hídrica y el efecto de la construcción de zanjas de infiltración en el control de la misma. La región es semiárida, con una topografía accidentada, una precipitación promedio anual que varía entre 350-

1200 mm año⁻¹, con los más altos 34 índices de pobreza y pobreza extrema del país y con altas tasas de erosión hídrica. Los resultados encontrados muestran que la tasa promedio de erosión en las laderas de la sierra es de 45,04 t ha⁻¹-año⁻¹, que representa una lámina de pérdida suelo de 3,20 mmaño⁻¹. Asimismo, se encontró que la construcción de zanjas de infiltración, redujo la pérdida de suelo en 20,60 ton ha⁻¹-año lo que significa 1,47 mm año⁻¹. Conclusión estos resultados son de mucha utilidad, pues por primera vez se ha cuantificado las pérdidas de suelo. Ello servirá de para la planificación de trabajos de conservación de suelos que podrán llevarse a cabo en esta importante región.

Fernández¹ & Figueroa² (2014) en su estudio “Erosión hídrica en la cuenca alta del río Moche). Estudiaron la pérdida de suelo y la incidencia de las precipitaciones pluviales como factor en la erosión hídrica. Se cuantificaron la esorrentía superficial y la pérdida de suelo bajo condiciones de uso del suelo Para este efecto, se determinaron los caudales de los ríos y se utilizó el registro de lluvias de un período de 24 años (1988-2011) de la Estación Meteorológica del SENAMHI. Este dato permitió estimar el poder erosivo de las precipitaciones como factor determinante de la erosión en términos de degradación específica en t ha⁻¹ año⁻¹ mediante el método de Fournier, basado en la función fundamental del coeficiente p^2/P , siendo p la precipitación del mes más lluvioso y P la precipitación total anual. Se registró pérdidas de suelo por erosión hídrica, en Huangamarca y Pollo, en el orden de 7.29 y 33.40 t ha⁻¹ año⁻¹, respectivamente. Estas pérdidas por erosión son consideradas valores altos, comparados con el rango permisible por la FAO (0.4-1.8 t/ha/año), que afectan los agroecosistemas.

Conclusión el factor geomorfológico representado por las pendientes que llegan hasta 15 %, 35 % en las microcuencas Huangamarca y Pollo, respectivamente, influyen en la erosión de los suelos.

Quispe (2018) en su tesis “Influencia de la cobertura vegetal en la erosión hídrica del suelo en la comunidad de San Mateo, Perú”. Indica que la zona se encuentra en una crisis porque muchos pastizales y praderas fueron destruidos, quedando las tierras expuestas a las fuerzas del viento y la lluvia, perdiéndose así enormes cantidades de tierras agrícolas. La erosión del suelo en la comunidad de San Mateo, ocasionada por el sobrepastoreo de las cumbres y laderas, genera que la lluvia no se infiltre, lo que repercute en la poca recarga de del acuífero, y bajos caudales en los manantiales. La presencia de una capa arable poco profunda y la abrupta topografía, hacen que la escorrentía arrastre el suelo produciendo surcos y cárcavas. Por ello, la erosión se convierte en un factor limitante de los cultivos y reduce el crecimiento de la festuca sp. Que es una de las gramíneas naturales que es utilizada como alimento del ganado.

Álvarez (2019) en su investigación “Análisis temporal del nivel de la erosión hídrica de la subcuenca del río Ichu 2013 y 2017”, estimó el nivel de erosión hídrica de la Subcuenca del río Ichu en los años 2013 y 2017. Se utilizó como métodos generales el análisis y la síntesis de la metodología de Ecuación Universal de Pérdida de Suelos (USLE) y el análisis espacial con herramientas de Sistemas de Información Geográfica (SIG). La tasa de erosión hídrica promedio más alta que se dio en el año 2013 fue de 406,98 t ha⁻¹año⁻¹ con un área de 18,1 ha correspondiente al 0,013 % de la superficie total, la mínima fue de 0,46 del nivel de erosión de la superficie de la subcuenca del río Ichu y

la erosión hídrica promedio más alta se dio para el 2017 con 554,36 t ha⁻¹año⁻¹ con un área de 25 ha correspondiente al 0,018 % de la superficie total, la mínima fue de 0,39 t ha⁻¹ año⁻¹ del nivel de erosión de la subcuenca del río Ichu. Con estos resultados se concluye que hubo una variación extremada del 2013 al 2017 por dos factores muy importantes la cobertura vegetal y la precipitación pluvial.

2.1.3. A nivel local

Toboada (2011) en su trabajo “Evaluación de la erosión hídrica en áreas con zanjas de infiltración”, indicó que en la Microcuenca la Encañada, se realizó cinco evaluaciones desde enero hasta marzo en zanjas por infiltración y han controlado el 12,46 % de toda la erosión hídrica del suelo que representa el 0,77 t ha⁻¹ en promedio. El estudio se ha centrado en determinar la magnitud de la erosión en la cabecera de las microcuencas altoandinas buscando establecer el nivel de la degradación de los suelos, así como, seleccionar y mejorar el diseño de prácticas eficientes y sostenibles de manejo de los suelos.

2.2. Bases teóricas

2.2.1. Erosión hídrica

Novillo (2019) “La erosión hídrica es aquella erosión del terreno que se produce debido al paso del agua. Esta agua en movimiento va retirando material de la tierra, es decir que produce la erosión del suelo y lo va desgastando poco a poco, y lo deposita este material aguas abajo”

2.2.2. Efectos de la erosión

2.2.2.1. Espesor de la capa arable.

El espesor de la capa arable influye de diversas maneras en la erosionabilidad del suelo. Espesor ejerce sobre la infiltración además influye

en la erosión. La capa arable homogénea esto permite que la infiltración del agua proceda sin obstáculos durante cierto tiempo hasta que el agua alcanza capas de porosidad diferentes. Se manifiesta sobre el contenido de materia orgánica de la superficie del suelo. Cuando la capa arable es de poco espesor, en la arada, el subsuelo se mezcla con ella, su contenido de materia orgánica disminuye y se observa una erosión mayor. También influye en la fertilidad del suelo. Cuanto más espesa es la capa arable mayor es la cantidad de nitrógeno que se desprende y, por consiguiente, la cubierta vegetativa que se produce es más considerable y las pérdidas debidas a la erosión son menores que las que ocurren en los suelos con capa arable poco espesa. (Chinquiquira,2016.pp1-7)

2.2.2.2. Capacidad de retención del agua

“La capacidad de retención de agua del suelo para disponer de cantidades variables de agua, depende de su textura, de su estructura, de la profundidad de las raíces en dicho suelo y todo ello afectará a la frecuencia de riego y también a las cantidades de agua aplicadas”. (TRAXCO, 2014)

2.3. Tipos de erosión hídrica

2.3.1. Erosión por salpicadura.

“Es el proceso de erosión hídrica, inicia cuando las gotas de lluvia impactan la superficie con una energía que permite desplazar partículas de material sin consolidar, dando lugar al proceso denominado erosión por salpicadura”. (SUDAS, 2006)

Garcia (2012) indica que:

“La erosión laminar se puede identificar mediante los siguientes síntomas

- Presencia de montículos en el suelo.
- Plantas con su sistema radicular al descubierto.

- Invasión de especies vegetales específicas de suelos degradados”

“La duración, intensidad y frecuencia de las precipitaciones logran la remoción de capas delgadas y uniformes de suelo sobre toda el área, produciendo lo que se denomina erosión laminar”. (Favis-Morthock, 2007)

2.3.2. Erosión por surcos o regueros.

Cairns et al. (2001) manifiestan que los surcos corresponden a canales miniaturas, que son el resultado de la eliminación de 10 a 50 cm de suelo por acción de la escorrentía, la que transporta material erosionado hacia canales o riberas. Estos autores señalan, que el agua permanente a través de estos canales, podría producir barrancos o cárcavas.

2.3.3. Erosión en barrancos o cárcavas.

Martin (2007) indica que las cárcavas y barrancos son pequeños valles de paredes y cabeceras verticalizadas y perfiles longitudinales de pendiente elevada, que transmiten flujos efímeros y denotan una intensa erosión hídrica. Señalan al comparar estas profundidades con los cauces permanentes, relativamente llanos y cóncavos en su perfil, las cárcavas se caracterizan por tener saltos a lo largo de su surco. Además, poseen una mayor profundidad, menor anchura que los cauces estables y transportan una mayor cantidad de sedimentos. (pp.1-4)

2.3.4. Erosión en bancos aluviales

De acuerdo a SUDAS (2006) la erosión en bancos aluviales se produce a partir de los procesos erosivos en el cauce de los barrancos o cárcavas, haciéndolas más profundas y el material de las riberas se vuelve inestable y se desprende el material desde altas zonas. (p 7)

2.4. Clases de erosión

2.4.1. La erosión geológica

“La erosión natural o geológica comprende el desprendimiento, transporte y depósito de materiales del suelo o roca por la acción de un fluido en movimiento el cual puede ser tanto agua como viento”. (Díaz, 2019)

2.4.2. Erosión antrópica o acelerada

La erosión acelerada es generada en gran parte por actividades de ingeniería como excavación, construcción y la adecuación de terrenos que exigen el retiro de la vegetación debido a esto, las zonas intervenidas son susceptibles y presentan desplazamiento cuando la fuerza externa (viento, agua) vencen la resistencia de las partículas del suelo. (Duque & Escobar, 2019)

2.5. Causas de la erosión

2.5.1. La deforestación

La deforestación se debe a la tala indiscriminada de los bosques en forma masiva, causando un daño a los suelos, la deforestación tiene muchos efectos negativos para el medio ambiente. El impacto más terrible es el daño al hábitat de millones de especies. (GEOGRAPHIC, 2010)

2.5.2. Prácticas agrarias incorrectas

Álvarez (2020) sostiene que las prácticas agrarias incorrectas pueden causar que la erosión se incremente y sea un problema grave. Se ha comentado que la deforestación de algunas zonas puede ser peligrosas, pero hay otras prácticas que también pueden serlo como el arar en sentido de las pendientes, además de dejar el suelo en el sentido que es más fácil que el agua lo arrastre.

2.5.3. *Las sequías*

La sequía es el déficit de lluvias durante un tiempo prolongado, la falta de lluvia da lugar a una disminución de agua para las plantas, animales y los seres humanos. Las sequias pueden presentarse en cualquiera de estos cuatro tipos:

- Meteorológica. La media de precipitaciones es inferior a la normal.
- Agrícola. Cantidad de humedad del suelo no es suficiente para el desarrollo de los cultivos.
- Hidrológica. La sequia es producida cuando los suministros de agua de la superficie terrestre y del subsuelo son inferiores a los normales.
- Socioeconómica. Deficiencia física del agua afecta las actividades humanas. (National Weather Service, 2016.p2)

2.5.4. *El cambio climático*

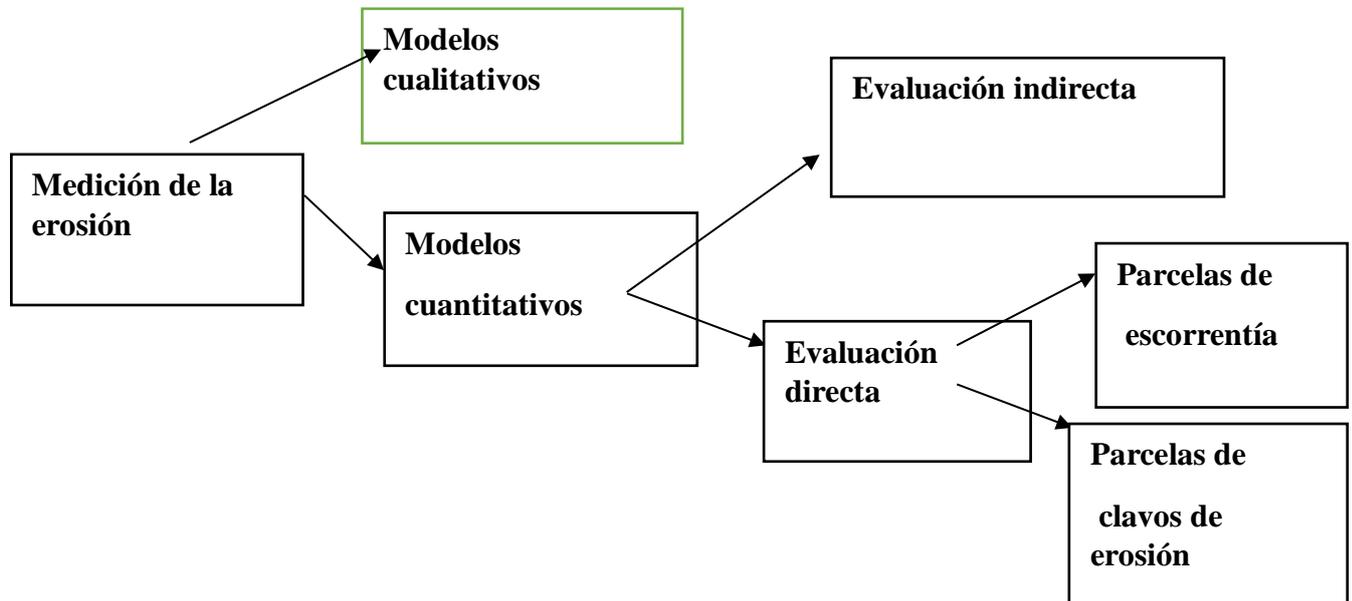
El cambio climático es un hecho que se viene evidenciando alrededor del mundo, alterando la temperatura y precipitación, provocando modificaciones en las condiciones ambientales lo que ha afectado a distintos sectores, siendo uno de los principales el sector agrícola, especialmente en países de tercer mundo. Consecuentemente en diferentes países se han realizado diversos estudios para recopilar información acerca de las percepciones de las causas y efectos que ha provocado el cambio climático en el sector agrícola y aunque en la mayoría de ellos se ha planteado que la actividad antropogénica es la razón principal, un gran porcentaje no está de acuerdo en cambiar su ritmo de vida para modificar esta situación. (Tigmasa, 2020, pp.14-77)

2.6. Medición de la erosión

La lectura de la erosión o sedimentación ocurrida en cada varilla se efectuó una semana después aproximadamente del cese de la última lluvia, en el mes de abril del 2011. Las mediciones se realizaron colocando una cinta métrica al costado de cada varilla, expresándose las lecturas en milímetros. Cuando había erosión, la lectura se expresaba con signo negativo (-) y si se trataba de sedimentación, se expresaba con signo positivo (+) pérdida de suelo. Durante toda la temporada de lluvia, se inspeccionaba periódicamente la zona de trabajo de todas las parcelas a fin de ver la permanencia de las varillas en su sitio de instalación, destacándose que no se pudo observar ninguna perturbación durante todo el trabajo de campo, sobre todo debido al apoyo del propio campesino, dueño del área donde se instalaban las parcelas. (Vásquez & Tapia , 2011, pp. 42-50)

Figura 1

Modelos para la evaluación hídrica (Adaptado de García, 2012)



2.6.1. Modelos cuantitativos.

Permiten la estimación numérica de la erosión y pueden tener una evaluación directa o indirecta. La evaluación directa se desarrolla en terreno, por medición en parcelas de erosión o por la medición de variables, como por ejemplo sedimentos en el agua y utiliza simuladores de lluvia, cuyos datos son extrapolados a zonas homogéneas. Los métodos de evaluación indirecta están asociados a modelos estadísticos, modelos físicos y modelos paramétricos.

(D'Amario , 2016, pp. 1-55)

2.6.1.1. Modelos de evaluación directa

Corresponde a parcelas experimentales, en las cuales se instalan instrumental con el objeto de estimar las pérdidas del suelo.

2.6.1.1.1. Parcelas experimentales de clavos de erosión

Método que consiste en parcelas rectangulares en las cuales se instalan “clavos” que marcan la línea inicial del suelo, cuya medición se efectúa luego de ocurrida la tormenta con objetivo de evaluar la erosión o sedimentación producida. Lo anterior permite establecer un balance entre pérdidas y entradas de suelo para estimaciones más reales. Estas parcelas de clavos de erosión, son conocidas por diversos nombres, como varillas o estacas y presentan también algunas modificaciones (generalmente acompañadas de argollas para marcar los cortes en el terreno, los clavos pueden ser de madera, hierro o cualquier otro material, además indicaron que el método de las varillas o clavos de erosión es adecuado para cuantificar la erosión hídrica producida en un sector determinado y que sea representativo del área a ser evaluada. Además, señalan que permite medir tanto la erosión, así como la sedimentación que se pueda producir en el mismo lugar. (Pizarro & Cuitiño , 2002, p. 17)

2.7.Ventajas

Vásquez & Tapia (2011) afirman que el método de clavos o varillas de erosión es un método útil y sus ventajas son las siguientes: medición directa y simple; bajo costo; fácil disponibilidad de materiales y durabilidad aceptable; bajo riesgo de pérdida, y puede también usarse para medir erosión eólica, fluvial. (pp. 42-50)

2.8.Precipitación

La precipitación es la caída del agua desde la atmósfera hacia la superficie terrestres. La precipitación se genera por la condensación del agua, la acumulación de agua en la atmósfera crea nubes. El agua que se acumula en la atmósfera se encuentra en estado gaseoso; cuando existe una cantidad

considerable de agua gaseosa dentro de las nubes el agua pasa del estado gaseoso al líquido o al sólido. Las precipitaciones como lluvia pueden tener contaminantes que son absorbidas en la atmósfera y caen junto con la lluvia las llamadas lluvias acidas. La precipitación sólida se debe a los cambios de los estados del agua de gaseoso al líquido y rápidamente al sólido (por el frío) cuyo proceso se llama solidificación. (Alva, 2011, p.16)

2.9.Desventaja

Vasquez & Tapia (2011) sostienen que las desventajas del método de clavos o varillas de erosión son :

La varilla altera el microambiente a su alrededor; genera un peligro potencial de alteración del suelo, por parte del operador durante la instalación de las varillas y la medición.; la fauna o animales domésticos podrían causar alteraciones; riesgo que en la zona de la varilla se genere una alteración del suelo debido a la variación del contenido de humedad (pp. 42-50)

2.10. Medida de la precipitación

Alva (2011) dice que la precipitación se mide con pluviómetros o fluviógrafos situados en zonas abiertas, ningún obstáculo se proyecte dentro de la superficie cónica invertida con vértice en pluviómetro y pendiente de 30°. Puesto que la medida del pluviómetro se ve influenciada por el viento, que da lugar normalmente a lecturas inferiores, se han ido desarrollando distintos tipos de superficies captadoras para minimizar este error en la medida. Ya que la cantidad de precipitación varía espacialmente, incluso de forma considerable en pequeñas distancias de solo unas centenas de metros, normalmente se necesitan utilizar los datos suministrados por varios pluviómetros para estimar la precipitación promedio por un área y para evaluar su validez. (p.18)

2.11. Características de la precipitación

Entre las características de la precipitación, se considera: a) Tamaño y forma, las gotitas de lluvia tienen tamaño entre los límites de 0.1 mm hasta los 9 mm de diámetro, y por encima de este tamaño tienden a romperse. Las gotas más pequeñas se llaman gotitas de nube, y su forma es esférica. Cuando una gotita de lluvia aumenta de tamaño, su forma se hace más redonda. b) Intensidad y duración, la intensidad de la precipitación están inversamente relacionadas; es decir, las tormentas de intensidad alta probablemente serán de duración corta, y las tormentas de intensidad baja pueden tener una duración larga, c) Intensidad y área, sobre un área grande la precipitación suele ser menos intensa que sobre un área pequeña. d) Tamaño de gota e intensidad, las tormentas de intensidad alta tienen un tamaño de gota más grande que las tormentas de intensidad baja. (Alva, 2011, p. 19)

2.11.1. Cantidad

La precipitación se expresa como la lectura de agua recogida a nivel del suelo o cerca de él, indicada en mm o $l\ m^{-2}$. La medición de la lluvia se hace una vez al día, y se agrupan esos resultados por meses o por años. En el caso de episodios de lluvia inferiores a 0,1 mm se considera que la precipitación es inapreciable, porque es demasiado pequeña para ser medida por el pluviómetro. (Alva, 2011, p. 20)

2.11.2. Intensidad, duración y frecuencia.

La intensidad es la cantidad de lluvia caída por unidad de tiempo, sea diaria, horaria o en intervalos más cortos. Normalmente se expresa en milímetros por hora (mmh^{-1}), aunque conviene diferenciar entre la cantidad de agua recogida en el transcurso de un episodio lluvioso y la referida al periodo

de una hora. Variaciones importantes se establecen también entre intensidad y tiempo; las intensidades medias registradas en periodos corto son muchos mayores que la observadas en intervalos de tiempo largos. Cuando se trata de cantidades extremas, si se analizan los registros de diferentes estaciones del planeta, observamos que la intensidad observada durante diez minutos es casi tres veces mayor que la registrada en cien minutos y ésta supera en la misma proporción a la obtenida durante mil minutos. A la vez existe cierta relación entre tamaños de gotas e intensidad de lluvia, de manera que las precipitaciones más intensas se caracterizan por gotas de mayor diámetro, al menos hasta cifras de 80-100 mm h⁻¹, a partir de las cuales la tendencia se invierte. (Alva , 2011)

2.12. Propiedades físicas del suelo

2.12.1. Estructura del suelo.

Maycotte et al. (2011) definen como la propiedad que nos permiten conocer como están formados los agregados del suelo, es decir cómo se organizan las arcillas, el limo y las arenas para formar el suelo. Para determinar la estructura es necesario estudiar tres parámetros; siendo éstos: la forma, el grado de desarrollo y tamaño del agregado. La estructura del suelo afecta directamente la aireación, el movimiento del agua en el suelo, la condición térmica, el crecimiento radicular y la resistencia a la erosión. El agua es el componente que afecta la estructura del suelo debido a su solución y precipitación de minerales y sus efectos en el crecimiento de las plantas (p. 46)

2.12.2. Textura del suelo.

Maycotte et al. (2011) indican que la textura es una de las propiedades físicas de importancia, la cual expresa la distribución del

tamaño de las partículas sólidas de las que está compuesto el suelo. Por medio de la textura de un suelo se pueden estimar ciertos atributos como su capacidad productiva, su comportamiento mecánico, capacidad de retención de agua, capacidad portante, velocidad de infiltración, densidad aparente, capacidad de usos contrastándola con la profundidad y pendiente. (p. 44)

2.12.3. Densidad aparente.

Con la determinación de la densidad se puede obtener la porosidad total del suelo. Se refiere al peso por volumen de suelo. Hay dos tipos de densidad, real y aparente. La densidad real, de las partículas densas del suelo, varía con la proporción de elementos constituyendo el suelo. La densidad aparente alta indica un suelo compacto o elevado de partículas granulares de arena. Una densidad aparente baja no indica un ambiente favorecido para el crecimiento de las plantas.

La densidad aparente se hizo con la finalidad de calcular el peso de la capa de suelo que pierde por acción de la erosión hídrica. $D_a = M_s / V$ total. (Maycotte et al. , 2011, p. 48)

Castillo (2005) indica la clasificación de la densidad aparente de los suelos:

<1,0 g cm⁻³, Muy bajo

1,0-1,2 g cm⁻³, Bajo

1,2-1,45 g cm⁻³, Medio

1,45- 1,60 g cm⁻³, Alta

>1,60 g cm⁻³, Muy alta

2.13. Beneficios de la vegetación en el control de la erosión

Cuando una gota de lluvia golpea un terreno cubierto con una vegetación densa, se rompe en minúsculas gotitas de agua clara que penetran fácilmente en los innumerables intersticios y canales del suelo; cuando esa gota golpea un suelo desnudo, la fuerza del impacto desprende partículas que quedan en suspensión y a medida que el agua se infiltra, depositan en los espacios de poros del suelo, obstruyéndolos y dificultando el paso posterior del agua, la cual se ve obligada a fluir sobre la superficie del terreno. La vegetación al morir y descomponerse, aumenta el contenido de materia orgánica y de humus del suelo, y con ellos la porosidad y capacidad de retención de agua de los terrenos. Las variables que intervienen en los procesos erosivos son la vegetación, el clima, la topografía, el tipo y uso del suelo. La falta de cobertura vegetal es una causa para la erosión del suelo. (Alvarado , 2016, p. 14)

2.14. Principales funciones de la vegetación

- Incremento de la intercepción pluvial.
- Aumento de la infiltración del agua al suelo.
- Disminución del agua de escorrentía.
- Reducción del desprendimiento del suelo.
- Defensa contra el viento.
- Protección contra el impacto de las gotas de lluvia.
- Mejora el aspecto del lugar, calidad del suelo y el ecosistema.
- Cambia la cohesión del suelo gracias a las raíces.

(Alvarado , 2016, p. 15)

2.15. Definición de terminos básicos

ACP. Análisis de componentes principales como la densidad aparente, pendiente, porcentaje de rocas en la superficie del suelos, materia orgánica y erosión hídrica. (Matías et al, 2020, pp.52-71)

La erosión hídrica. Es aquella erosión del terreno que se produce debido al paso del agua. Esta agua en movimiento va retirando material de la tierra, es decir que produce la erosión del suelo.

Parcela de clavos de erosión. es un método que se utiliza, para calcular la pérdida del suelo.

Pendiente. Es grado de inclinación de un terreno.

Cobertura vegetal. Es una capa de vegetación natural que cubre la superficie terrestre.

CAPÍTULO III

MATERIALES Y MÉTODOS

3.1. Ubicación

3.1.1. Zona de estudio

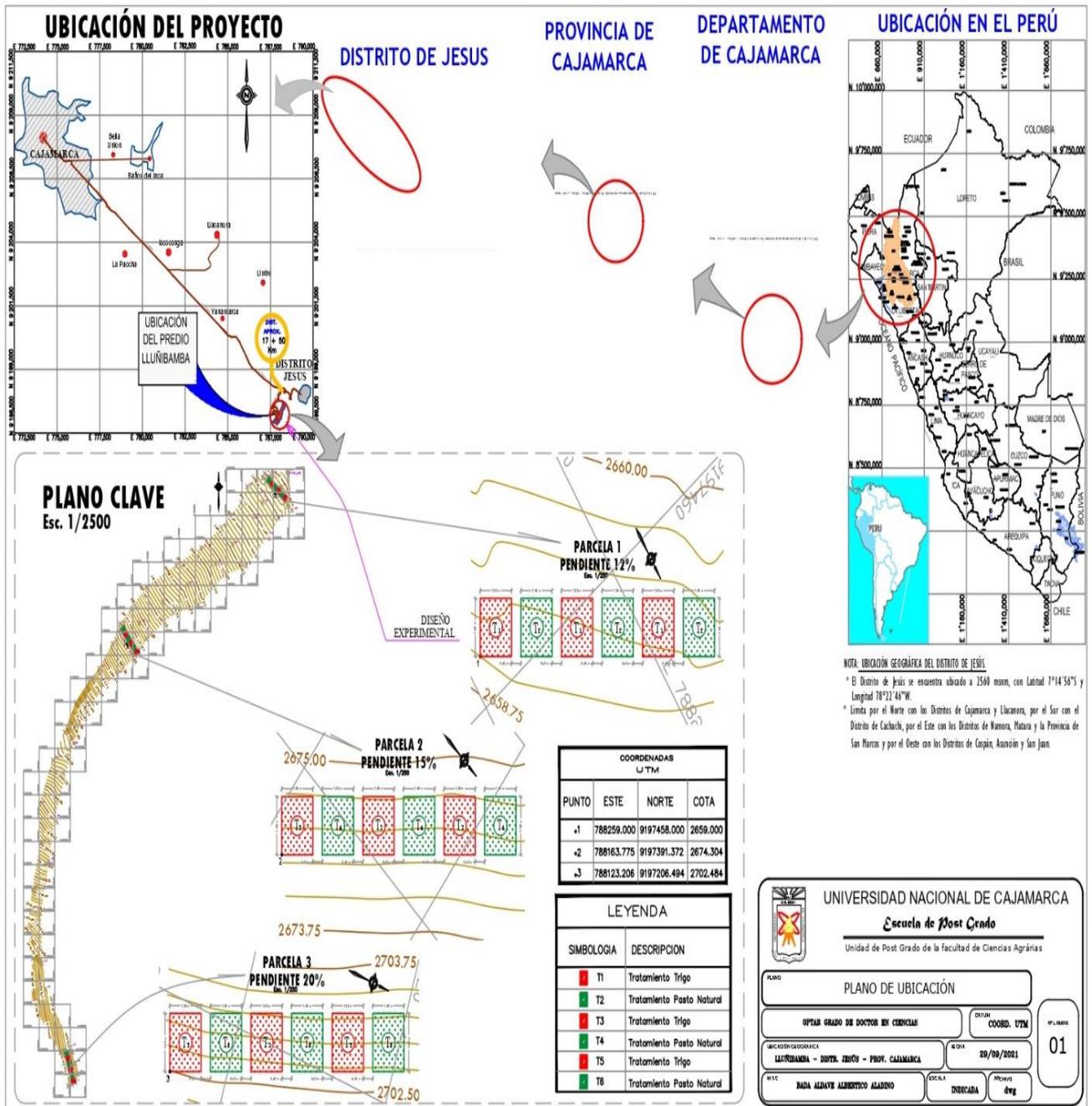
El presente trabajo de investigación se desarrolló desde enero a mayo del 2014, en el predio Lluñibamba, en el distrito de Jesús, provincia de Cajamarca y departamento de Cajamarca.

3.1.2. Ubicación geográfica.

El distrito de Jesús se encuentra ubicado en una Latitud $7^{\circ} 14' 56''$ S; Longitud: $78^{\circ} 22' 46''$ W y Altitud de 2560 m.s.n.m. Limita por el Norte con los distritos de Cajamarca y Llacanora, por el Sur con el distrito de Cachachi, por el Este con los distritos de Namora, Matara y la provincia de San Marcos y por el Oeste con los distritos de Cospán, Asunción y San Juan.

Figura 2

Plano de Ubicación del Experimento



3.1.3. Ubicación del experimento

La zona de estudio se desarrolló en el predio Lluñibamba, del distrito de Jesús y localizado entre las coordenadas UTM WGS 84:

Parcela 1, con pendiente 12%. 788 259,000 E; 9 197 458,000 N y altitud: 2659 m.s.n.m.

Parcela 2, con pendiente 15%. 788 163,775 E; 9 197 391,372 y altitud: 2674,304 m.s.n.m.

Parcela 3, con pendiente 20%. 788 123,206 E; 9 197 206,494N y altitud: 2702,484 m. s. n. m. Figura 2

3.2. Factores, niveles y tratamientos del estudio

Se consideró como uno de los factores a la pendiente, cuyos niveles son: 12, 15 y 20 %. Otro factor de estudio fue el tipo de cobertura vegetal, cuyos niveles fueron Trigo (T) y Pasto natural (PN). Los tratamientos fueron conformados por la combinación de los niveles de los factores, es decir, como producto de la combinación se obtuvo seis tratamientos.

Tabla 1*Factores o variables independientes, niveles y tratamientos en estudio*

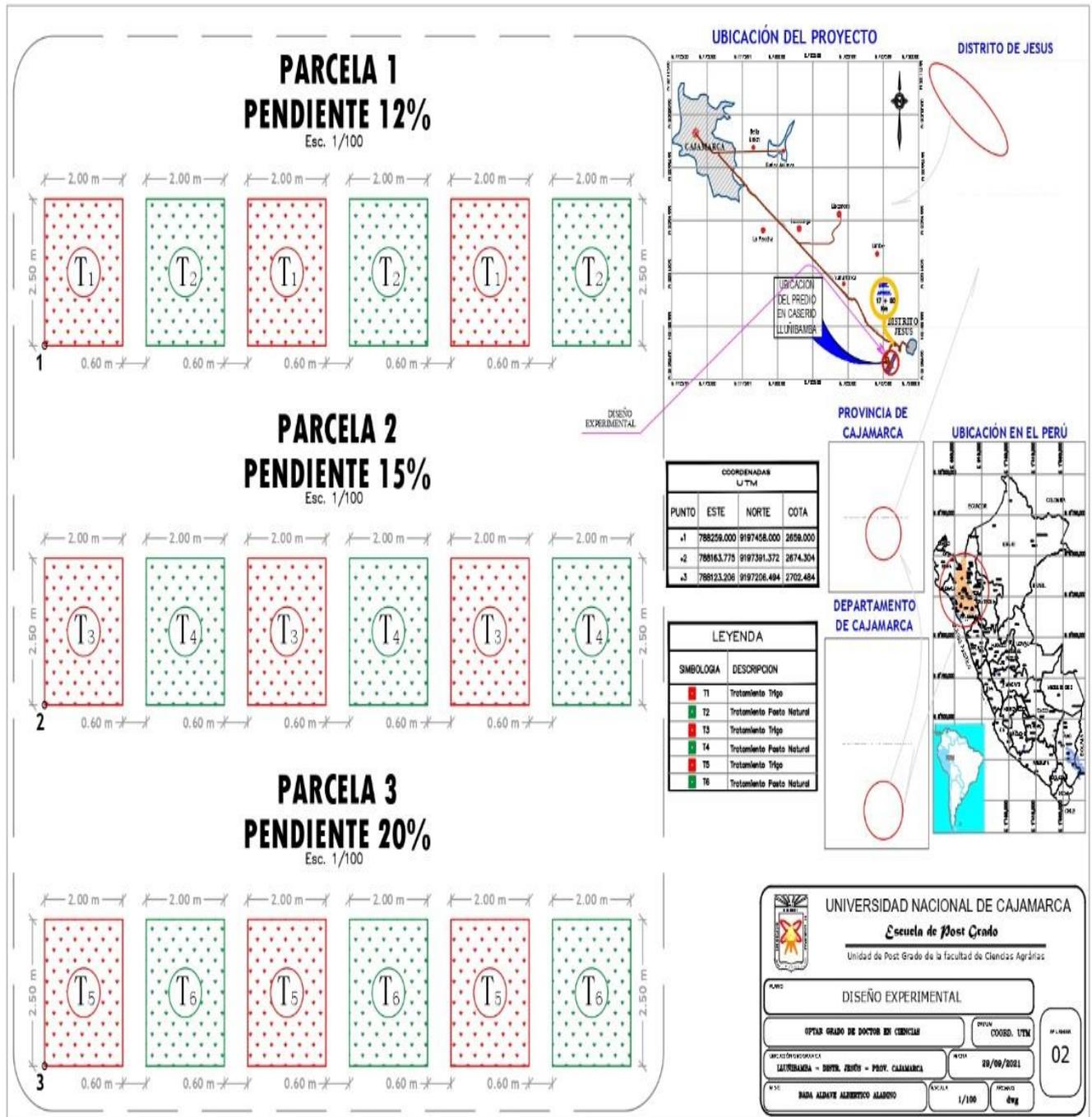
Factores	Niveles	Tratamientos (combinaciones)	Descripción	Clave
Pendiente (p)	12%	12% + T	Suelo con 12% de pendiente y cobertura vegetal de trigo	T₁
	15%	12% + PN	Suelo con 12% de pendiente y cobertura de pasto natural	T₂
	20%	15% + T	Suelo con 15% de pendiente y cobertura vegetal de trigo	T₃
Cobertura (C)	Trigo (T)	15% + PN	Suelo con 15% de pendiente y cobertura vegetal de pasto natural	T₄
		20% + T	Suelo con 20 % de pendiente y cobertura vegetal de trigo	T₅
	Pasto natural (PN)	20 % + PN	Suelo con 20 % de pendiente y cobertura vegetal de pasto natural	T₆

3.3.Diseño experimental

El experimento se realizó bajo un diseño de bloques completamente al azar (DBCA), con arreglo factorial de 3P x 2C y tres repeticiones por tratamiento. En total se obtuvo 18 unidades experimentales, los mismo que fueron dispuestos en tres parcelas y las dimensiones de cada unidad experimental fue de: 2m x 2,5 m (5 m²) distribuidas en todo el campo experimental.

Figura 3

Plano de ubicación y distribución de los tratamientos



3.4. Equipos y materiales

3.4.1. Equipos

- Brújula.
- Altimetro
- Nivel de ingeniero.
- GPS
- Pluviómetro.
- Estación total.
- Mira topográfica.
- Vernier.
- Carta cartográfica.
- Fotografías

3.4.2. Materiales

- Parcelas experimentales

3.5. Metodología

El tipo de investigación fue experimental y transversal, con una duración de cinco meses. La hipótesis de investigación fue determinar que la erosión hídrica del suelo, se incrementa conforme aumenta la pendiente y es mayor en suelos con cultivo de trigo que con pasto natural.

- Se ubicó los lugares de las parcelas con sus respectivos tratamientos, según la pendiente.
- Utilizó una nivelación geométrica múltiple.
- Se trazó las tres parcelas con sus dieciocho unidades experimentales, impares para trigo y pares para cobertura vegetal (pasto natural) alternadas de 2x2,5 m;

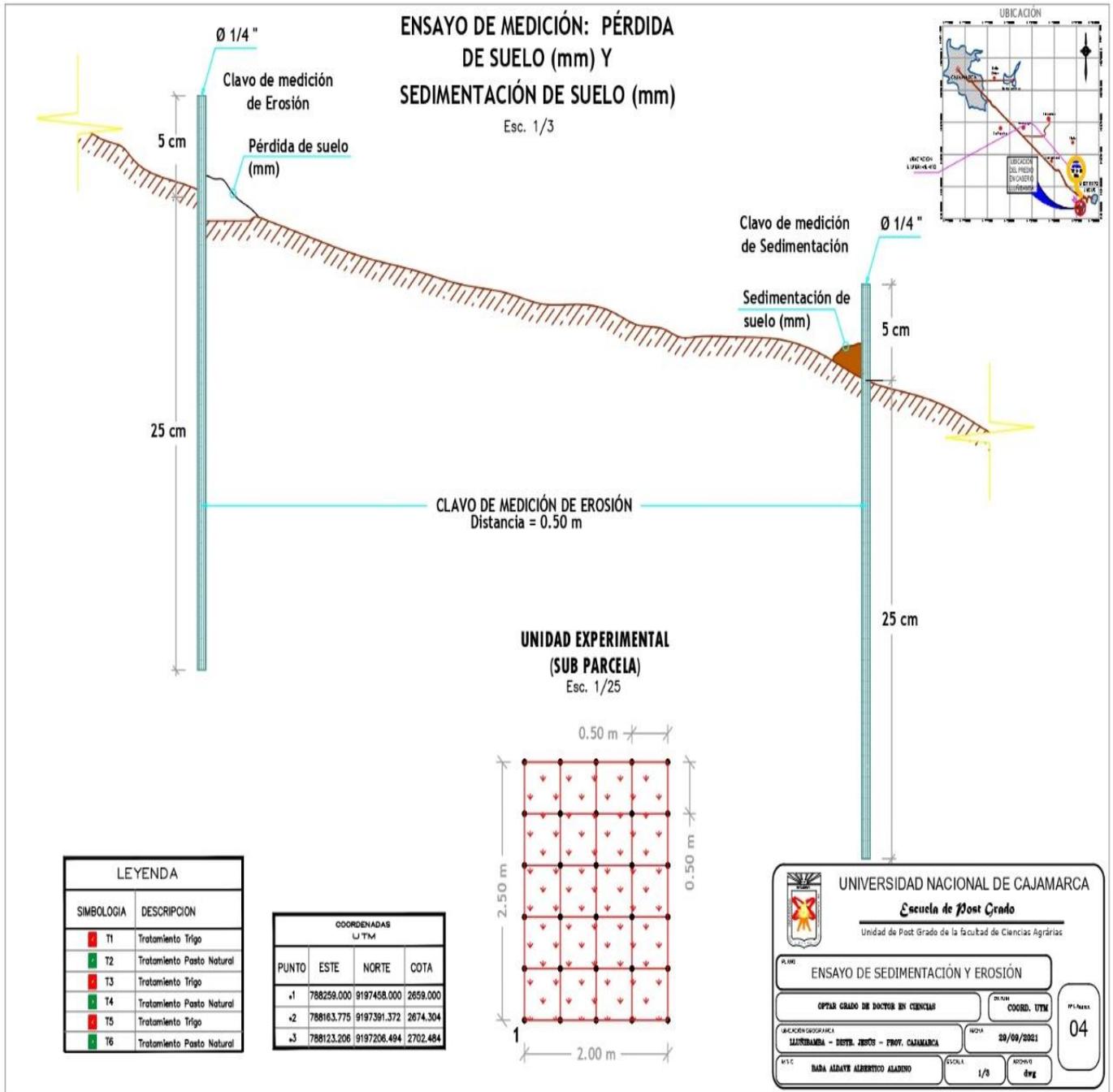
cada parcela estuvo compuesto de dos tratamientos de trigo y pastos naturales; cuya área de cada unidad experimental fue de 5 m² Figura 3

- Se tomó las muestras de dieciocho unidades experimentales para analizar densidad aparente y textura del suelo, las impares son con cobertura de trigo y las de pasto natural son de trigo.
- El área de la cada parcela de estudio fue de 37,5m², con 18 unidades experimentales de 5m², con cinco calles de entrada de 0,60 m de ancho, que facilitó la ubicación de las varillas en cada sub parcela, como se puede observar en la Figura 3.
- En la figura 4, se representa una unidad experimental con un área de 5m² y con la ubicación de 30 varillas de fierro de ¼ de pulgada, distanciadas a 0,50 m por 0,50 m.
- En el presente estudio se utilizó “varillas” de fierro corrugado 1/4 de pulgada de 6 mm de diámetro y 0,30 m de longitud, pintados y marcados. Estas varillas fueron introducidas en el suelo 0, 25 m, dejando expuestos sobre la superficie 0,05 m de longitud, como se puede ver en la Figura 5.
- Se llevó a cabo las mediciones del suelo removido al costado de los clavos mediante el método de clavos de erosión, con la finalidad conocer la medida del suelo perdido; los tiempos de mediciones fue de lapsos aproximados de 15 días según las precipitaciones de la zona durante cinco meses Figura 5.
- Las columnas de fierro se orientarán siguiendo el sentido de la pendiente.
- Las parcelas con clavos de erosión se instalaron en la segunda semana de enero 2014 y su evaluación fue cada 15 días de acuerdo a las precipitaciones, durante cinco meses. Para la evaluación de las varillas de erosión se utilizó un instrumento de precisión denominado “vernier”

- Se construyó un pluviómetro estándar, tiene la forma de un cilindro de 0.50 m de altura y con embudo de 0.20 m en interior; sirve para a medir la cantidad de agua caída, ya sea en forma de lluvia, nieve o granizo, expresada a través de la cantidad de litros o milímetros caídos por metro cuadrado.
- Para la medición del agua recolectada en el pluviómetro se utilizó una probeta de plástico graduado, que nos da la lectura directamente en unidades de longitud (mm), tiene unas divisiones largas que definen los milímetros y unas divisiones cortas que define décimas de milímetros. La medición de la lluvia fue una vez al día después de la precipitación y los resultados se agruparán por meses.

Figura 5

Mediciones a realizar en los clavos de medición de erosión



3.6. Evaluación de la cobertura

El distrito de Jesús, posee un clima templado con una fisiografía caracterizada por quebradas, riachuelos u hondonadas y cerros con colinas altas, por lo general corresponde a un agroecosistema de matorral mesotérmico de ladera media con presencia de pastizales y árboles dispersos, debido a que se extiende entre las cotas altitudinales 2672 m.s.n.m. y 2712 m.s.n.m. , tiene una vegetación de alta cobertura (85%), por lo que posee un estrato inferior constituido por herbáceas en su mayoría perennes, un estrato de arbustos y otro de árboles dispersos como el *Alnus acuminata* “aliso” *Eucalyptus globulus* “eucalipto”, *Mauria heterophylla* “trinidad”, *Escallonia pendula* “pauco”, *Kageneckia lanceolata* “lloque” y especies del género *Oreopanax* “maqui-maqui”. Estas áreas son utilizadas para diversos cultivos propios de la sierra como: maíz (*Zea mays*), trigo (*Triticum*), cebada (*Hordeum vulgare*), papa (*Solanum tuberosum*) y olluco (*Ullucus tuberosum*)

A fin de obtener el porcentaje de cobertura del conjunto de individuos de cada especie se utilizó el método cuadrado en las parcelas: parcela 1 (tratamiento 1-2); parcela 2 (tratamiento 3-4) y parcela 3 (tratamiento 5-6)

3.7. Evaluación de la flora

3.7.1. Equipos y materiales

3.7.1.1. Equipo

- Prensa botánica

3.7.1.2. Materiales

- Flora
- Papel periódico
- Cuaderno de campo.

- Lapicero.

3.7.2. Metodología

En la presente evaluación, se realizaron dos métodos distintos para el muestreo, esto debido a que se encontraron en la mayoría de las parcelas dos tipos distintos de vegetación, que corresponden a herbáceas y arbustiva, las cuales se detallan a continuación.

3.7.2.1. Vegetación herbácea

Para esta evaluación se tuvo definido ya el tamaño de las unidades experimentales, el cual corresponde a la forma rectangular 2x2,5 m, dentro de ella fueron evaluadas 18 unidades experimentales que fueron representadas por 1 m², las cuales fueron ubicadas al azar. Fue utilizado un marco cuadrado de madera para delimitar la unidad muestral, a su vez fue subdividida en cuadrantes de 10 cm, fue registrado el porcentaje de cobertura vegetal y el número de individuos por especie presente en cada sub parcela. (Fernández, 2017)

3.7.2.2. Vegetación arbustiva

Para este tipo de vegetación se utilizó el método de transecto lineal de una distancia de 100m de largo, en la cual fueron registrados el número de individuos existentes para cada especie, que se encontraban dentro de los 2 m hacia cada lado de la línea del transecto, haciendo un total de 12, 30 m, en esta evaluación fueron registradas las especies de porte arbustivo y arbóreo.

(Fernández, 2017, p. 2)

Figura 6 se indica, la toma de datos florísticos en campo con respecto a la vegetación existente en una evolución de flora en ecosistemas degradados.

- Porcentaje de cobertura vegetal (número de individuos de flora existente en un 1m^2).
- Porcentaje de zona desnuda sin presencia de vegetación.
- Porcentaje de pedregosidad en 1m^2 .
- Espacios vacíos sin vegetación (zona desnuda), para contabilizar estos espacios vacíos se cuenta los números de cuadrantes.

Figura 6

Datos florísticos en campo con respecto a la vegetación



Espacio vacío sin vegetación (zona desnuda)

% de pedregosidad

Número de cuadrante de presencia de cobertura vegetal

3.8. Laboratorio

3.8.1. Densidad aparente.

3.8.1.1. Equipos y materiales

3.8.1.1.1. Equipos

- Balanza de precisión de 0,01gr.
- Estufa eléctrica de temperatura.

- Probeta graduada de plástico de 1000 ml.
- Parafina.

3.8.1.1.2. Material

- Terrones del suelo seco

3.8.1.2. Metodología

- Se obtuvo los terrones extraídos del terreno y se puso a secar en la estufa a 105°C.
- Se pesó los terrones de suelo seco (Ptss)
- Los terrones secos se amarraron con hilo y se sumergió en parafina (con densidad de 0,9 g cm⁻³).
- Los terrones de suelo con parafina se pesaron (Ptsp).
- En la probeta se coloca un volumen de agua de 40 cm³ (Vp).
- El terrón con parafina se sumerge en el agua y se mide en la probeta el volumen terrón hilo y parafina (Vthp).
- Se obtuvo volumen desplazado $Vd = (Vthp - Vp) \text{ cm}^3$
- Luego calculo la densidad aparente $Da = (Ptss / (Vd - (Ptsp - Ptss) / 0.9)) \text{ g cm}^{-3}$

3.8.2. Textura del suelo por método de Bouyoucos

3.8.2.1. Equipos y materiales.

3.8.2.1.1. Equipos

- Cronómetro.
- Hidrómetro.
- Agitador manual.
- Vasos precipitados.
- Probeta de 1000 ml.
- Termómetro,
- Pipeta de 10 ml.
- Agente dispersante (hexametafosfato de sodio).

3.8.2.1.2. Material

- Suelo tamizado.

3.8.2.2. Metodología método de Bouyoucos

- Se Pesa 50 gramos de suelo tamizados a 2mm, de las parcelas de 1,2 y 3, de trigo y pastos naturales.
- Se colocó la muestra de suelo en un vaso que contiene 250 ml de agua destilada y se agrega 10 ml de hexametafosfato de sodio; para parcelas impares y pares.
- Con el agitador se homogeniza la mezcla por 10 minutos para tener una mezcla homogenizada y tomar la lectura.
- Se coloca la solución una a probeta que contiene agua de caño, pero que llegue a 1000 ml.

- Se introduce el termómetro para tomar la temperatura para realizar los factores de corrección.
- Luego se agita y se introduce el densímetro para tomar las lecturas de Bouyoucos a los 40 segundos.
- Transcurrido dos horas se introduce el densímetro en la probeta sin agitarlo y se toma la lectura nuevamente y luego se toma la temperatura.

Con los datos que se obtuvieron del laboratorio y con ayuda de las ecuaciones se calculó el porcentaje de arena, limo y arcilla, luego vamos al triangulo textural y determinó el tipo de textura de suelo.

3.9. Estimación del suelo erosionado

Para la estimación del suelo erosionado en $t\ ha^{-1}$ en el periodo de estudio, se multiplicó el resultado de los promedios de las alturas en mm, por la densidad aparente del suelo ($t\ m^{-3}$); en las parcelas 1, 2 y 3, en sus respectivas unidades experimentales de trigo y pasto natural.

$$X(th^{-1}) = Da*Y$$

X: Suelo erosionado (tha^{-1}).

Y: Altura promedio de suelo erosionado (mm).

Da: Densidad aparente ($t\ m^{-3}$).

3.10. Determinación de la cobertura Vegetal

Se utilizó el m² para registrar las especies que fueron determinadas taxonómicamente “in situ”, verificando el listado registrado en las evaluaciones previas. Para las especies que no pudieron ser determinadas en campo, éstas fueron colectadas para su posterior determinación en el gabinete, realizando comparaciones con material digital y especímenes del Herbario CPUN “Isidoro Sánchez Vega” de la Universidad Nacional Cajamarca.

CAPÍTULO IV

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1. Densidad aparente

Tabla 2

Valores de la densidad aparente

Pendiente (%)	Tratamiento	Cobertura vegetal	D Ap. (g cm-3)
12	T₁	Trigo	1,66
12	T₂	Pasto natural	1,56
15	T₃	Trigo	1,59
15	T₄	Pasto natural	1,65
20	T₅	Trigo	1,88
20	T₆	Pasto natural	1,65

En la Tabla 2, se pudo determinar que en los tratamientos T₂ (pasto natural) y T₃ (trigo) las densidades aparentes son altas, porque se encuentran en rango de 1,45-1,60 g cm⁻³; en los tratamientos T₁ (trigo), T₄ (pasto natural), T₅ (trigo) y T₆ (pasto natural), tiene una densidad aparente muy alta y cuyo rango son mayores 1,60 g cm⁻³. Esto quiere decir que tiene partículas granulares de arena y no ofrecen resistencia a la penetración de las raíces; por lo tanto, las plantas no tienen dificultad de crecimiento, y absorben los nutrientes necesarios para su crecimiento. Estos resultados son respaldados por Rubio (2010) cuando la densidad aparente es alta y muy alta hay macroporosidad y permeabilidad en los suelos arenosos; la densidad aparente baja es propio de los suelos

arcillosos de microporosidad alta, con aireación deficiente e infiltración lenta del agua, lo cual puede provocar que las raíces tengan dificultades de penetración hasta alcanzar el agua y los nutrientes necesarios. La densidad aparente del suelo es un buen indicador de las características del suelo, tales como porosidad, grado de aireación y capacidad de drenaje.

4.2. Textura del suelo

Tabla 3

Consolidado de textura del suelo

Pendiente (%)	Cobertura vegetal	Arena (%)	Arcilla (%)	Limo (%)	Textura
12	Trigo	58,0	21,2	20,8	FrArA
12	Pasto natural	58,0	21,2	20,8	FrArA
15	Trigo	66,4	19,1	14,5	FrA
15	Pasto natural	66,4	19,1	14,5	FrA
20	Trigo	64,4	23,2	12,4	FrArA
20	Pasto natural	64,4	23,2	12,4	FrArA

De Tabla 3, se demuestra que la textura del suelo en pendiente de 15 % son de textura FrA y en pendiente 12 y 20% presenta una textura (FrAr A). Se afirma que el porcentaje de arcilla en textura (FrAr A) son mayores en los suelos con textura de (FrA); los resultados reflejaron que en los suelos Franco arenosos, franco arcillosos arenosos crecen mejor las plantas porque tiene mayor cantidad de partículas de arena, buena aireación y ayuda a los organismos en suelo a sobrevivir; porqué los suelos

franco arenoso, franco arcillosos arenosos comienza a erosionarse debido a la pendiente y al porcentaje mayor de arena y la macroporosidad. Estos resultados son corroborados por Chinn (2020-2021), indica que en suelo franco arenoso, la arena es muy inestable en cuanto a la humedad, pero está sujeta a la erosión. Básicamente, la arena se desplaza según la pendiente y filtra por las grietas subterráneas; Suelos franco arcillosos arenosos tiene partículas arena, arcillas y limo, su fertilidad por los limos, textura es suelta por arena y adecuada retención de humedad.

4.3. Evaluación de la erosión hídrica del suelo

Tabla 4

Análisis de varianza (ANOVA) para la erosión hídrica del suelo en función de la pendiente y la cobertura vegetal en Lluñibamba, Jesús, Cajamarca

Fuentes de variación	Suma de cuadrados	Grados de libertad	Cuadrado medio	F Calculado	p-valor
Pendiente (P)	0,015167529	2	0,007583765	421188,1575	<0,0001
Cobertura vegetal(C)	0,001875502	1	0,001875502	104161,8611	<0,0001
P*C	0,000991774	2	0,000495887	27540,6375	<0,0001
Error	0,00000022	12	0,0000000180		
Total	0,018035021	17			

$$CV = 0,33 \%$$

Los resultados del análisis de varianza para la erosión hídrica del suelo en Tabla 4, muestra significaciones estadísticas para los factores Pendiente, Cobertura vegetal e Interacción de los factores (P*C), dado que para las fuentes de variaciones estudiadas los valores de significación son menores al 5 %, el cual significa que, la pendiente, la cobertura vegetal y la Interacción si influyen significativamente en la erosión hídrica

del suelo. Además, las fuentes de variación generaron resultados estadísticamente diferentes.

La prueba de (ANOVA) indica si existe diferencias significativas entre los tratamientos, para nuestro caso si existe significación en la interacción de los factores (P*C), dado que p-valor es menor al 5 %, esto significa que, en las diferentes pendientes un tipo de cobertura tienen diferente comportamiento que la otra.

El coeficiente de variación al realizar el análisis de varianza es de 0,33% el cual indica la variabilidad de los resultados de la erosión hídrica en los distintos tratamientos. es bajo porque el experimento fue conducido en las mejores condiciones.

Frente a lo mencionado se rechaza la hipótesis nula y se acepta la hipótesis alternativa, donde indica que la pendiente y cobertura vegetal influye en la erosión hídrica del suelo. Estos resultados son justificados por (Suarez De Castro, 1979) en donde indica que la erosión por el agua depende de la topografía de los terrenos. Las pérdidas de suelo comienzan a adquirir importancia cuando el agua comienza arrastrar o llevar en suspensión, esto depende de la velocidad con que agua fluye.

La cobertura vegetal de trigo presenta mayor erosión hídrica del suelo en todas las unidades experimentales. Esto indica que medida que la pendiente aumenta, el agua fluye más rápidamente, la infiltración es menor y la erosión aumenta; En la cobertura vegetal (pasto natural) es la mejor defensa natural de un terreno contra la erosión hídrica del suelo y es menor que en trigo, se debe que es un terreno de vegetación más densa. Por tanto una gota de lluvia que golpea un terreno de vegetación densa se rompe en minúsculas gotitas de agua que penetran al suelo donde la erosión es menor.

Tabla 5

La erosión hídrica del suelo en función de la pendiente y la cobertura vegetal en Lluñibamba,

Jesús, Cajamarca

Pendiente (%)	Cobertura vegetal	Erosión hídrica (t ha ⁻¹)	Tasa de erosión (%)	Agrupación
20	Trigo	0,1017	22,29	A
20	Pasto natural	0,0604	22,14	B
15	Trigo	0,0313	6,85	C
15	Pasto natural	0,0202	7,42	D
12	Trigo	0,0191	4,19	E
12	Pasto natural	0,0103	3,77	F

Tabla 5, indica que en la media de la erosión hídrica del suelo hubo diferencias de valores en cada tratamiento. Los mayores resultados se obtuvieron en la pendiente de 20% con cobertura vegetal de trigo (0,1017 t ha⁻¹) y pasto natural (0,0604 t ha⁻¹), los menores resultados se obtuvieron en la pendiente 12% con cobertura vegetal de trigo (0,0191 t ha⁻¹) y en pasto natural (0,0103 t ha⁻¹), luego, el mejor tratamiento contra la erosión es pasto natural más pendiente 12%. La erosión presenta una tendencia creciente en función de la pendiente, es decir, que a medida que la pendiente aumenta, la erosión hídrica del suelo aumenta. La erosión hídrica del suelo presenta una tendencia creciente en función de la pendiente y cobertura vegetal, es decir, que a medida que la pendiente aumenta, la erosión hídrica de suelo es mayor en cobertura de trigo con respecto al pasto natural, a medida que la pendiente aumenta y se produce lluvia los poros del suelo se sellan, la infiltración del agua es menor y escurrimiento aumenta ; frente a la cobertura vegetal de pasto natural la infiltración del agua es mayor y el escurrimiento menor es por eso que la erosión hídrica del suelo es menor en la cobertura vegetal de pasto natural. Se

debe por crecimiento de las herbáceas y su sistema radicular denso lo que provoca mayor infiltración del agua y menor escurrimiento.

En tabla 5, la tasa de erosión (%) indica el porcentaje de erosión del suelo que ocurre para cada combinación de pendiente y tipo de cobertura vegetal. Para la combinación de una pendiente del 20 % y las coberturas de Trigo y Pasto natural, la tasa de erosión hídrica del suelo fueron las más altas (22,29 % y 22,14 %, respectivamente), esto indica que a medida que la pendiente se incrementa la tasa de erosión también se incrementa. Para la combinación de una pendiente del 15 % y las coberturas de Trigo y Pasto natural, la tasa de erosión del suelo fue inferiores a las primeras (6,85 % y 7,42 %, respectivamente). Por otro lado, en la pendiente del 12 % con Trigo y Pasto natural, se obtuvieron las tasas más bajas (4,19 % y 3,77 %, respectivamente), considerando a estos resultados se puede inferir que los tratamientos que involucran a la pendiente del 12 % más Trigo y Pasto natural, son los más efectivos contra la erosión hídrica del suelo, dado que tienen la menor tasa de erosión. Estos resultados son respaldados por Quispe (2018), el potencial de erosión de una lluvia, debido al impacto del agua al caer, así como por su escurrimiento superficial, se mitiga por la cubierta vegetal sobre el suelo, ya sea disminuyendo el golpe directo de las gotas de lluvia que llegan al suelo o interrumpiendo el flujo de escurrimiento sobre él, minimizando en ambos casos su energía cinética.

Tabla 6

La erosión hídrica del suelo en función de la pendiente en Lluñibamba, Jesús, Cajamarca

Pendiente (%)	Erosión hídrica (t ha ⁻¹)	Agrupación
20	0,0811	A
15	0,0257	B
12	0,0147	C

Tabla 6, se puede observar a medida que la pendiente aumenta (de 12% a 20%), la erosión hídrica también aumenta (de 0,0147 t ha⁻¹ a 0,0811 t ha⁻¹). La agrupación (C) que está compuesta por la pendiente 12% y coberturas vegetales de trigo y pasto natural, le corresponde menor erosión hídrica del suelo. Esta agrupación es mejor contra la erosión hídrica del suelo.

Figura 7

Erosión hídrica del suelo en función de la pendiente y la cobertura vegetal en Lluñibamba, Jesús, Cajamarca

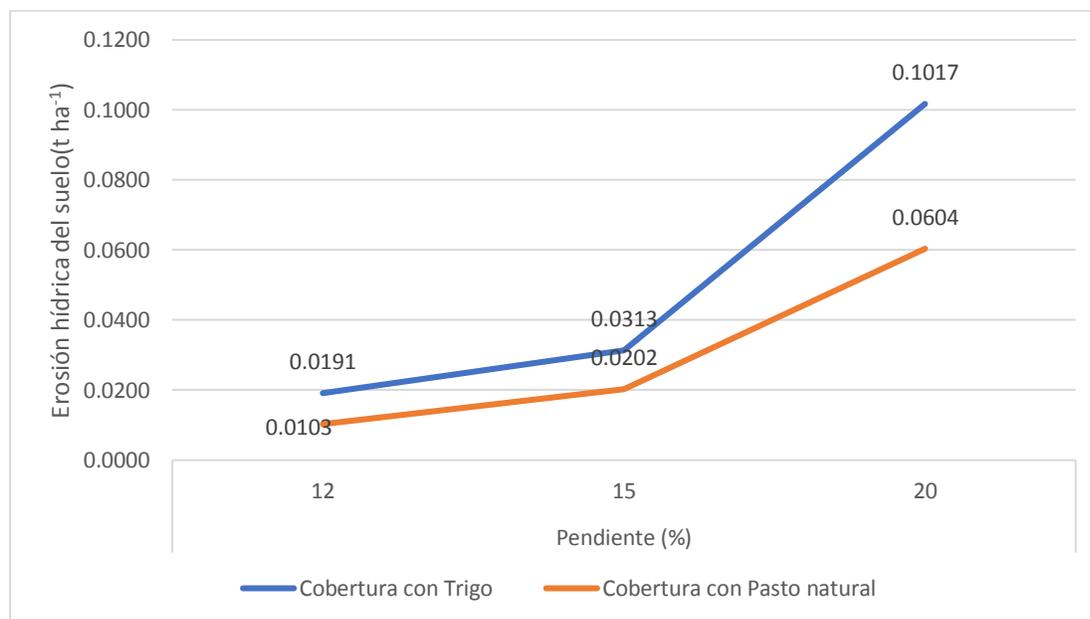


Figura 7, la erosión hídrica del suelo en pendiente de 12%, en cobertura vegetal de trigo es de 0,0191 t ha⁻¹ es mayor que la cobertura vegetal de pasto natural de 0,0103 t ha⁻¹; lo mismo sucede en pendiente de 15% con cobertura vegetal de trigo la erosión hídrica es de 0,0313 t ha⁻¹, también es mayor a la cobertura vegetal de pasto natural de 0,0202 t ha⁻¹ y en pendiente de 20% la erosión hídrica del suelo en cobertura vegetal de trigo es de 0,1017 t ha⁻¹ mayor que la erosión hídrica del suelo en cobertura vegetal de pasto natural (0,0604 t ha⁻¹). Esto indica que si hay diferencias entre los valores de la erosión hídrica del suelo.

En la cobertura vegetal de trigo la erosión hídrica del suelo es mayor que cobertura vegetal de pasto natural, porque a menor densidad poblacional en cobertura de trigo mayor erosión hídrica del suelo, frente a la cobertura vegetal de pasto natural en donde se obtuvo menor erosión. Estos resultados corroborados por Mardones (2007), quienes en su investigación llegan a concluir que a medida que aumenta la pendiente del terreno, el agua escurre en mayor volumen y a más velocidad por la superficie del suelo, aumentando proporcionalmente la cantidad de material removido, susceptible de ser transportado. (p. 15). En tal sentido, bajo lo referido anteriormente y al analizar estos resultados confirmamos que la erosión hídrica del suelo es directamente proporcional a la pendiente, mientras la pendiente aumenta se incrementa la erosión hídrica del suelo.

Tabla 7

La erosión hídrica del suelo en función de la cobertura vegetal en Lluñibamba, Jesús, Cajamarca

Cobertura vegetal	Erosión hídrica (t ha⁻¹)	Agrupación
Trigo	0,0507	A
Pasto natural	0,0303	B

La agrupación A, de la Tabla 7 indica el total de la erosión hídrica del suelo es (de 0,0507 t ha⁻¹) en la cobertura vegetal de trigo, tratamientos impares y las pendientes (de 12% a 20%); en la agrupación B, la erosión hídrica del suelo total es (de 0,0303 t ha⁻¹) en cobertura vegetal de pasto natural, tratamientos pares y las pendientes (de 12% a 20 %); esto indica que mejor agrupación (es B) con cobertura vegetal de pasto natural contra la erosión hídrica del suelo.

Esto se explica porque las gotas de lluvia caen directamente al suelo y con poca densidad de vegetación (trigo), ocasionando disgregación y desprendimiento de las partículas y sellando los poros del suelo, dando como resultado menor infiltración y mayor escorrentía en los tratamientos impares y en tratamientos pares las herbáceas presentan un sistema radicular denso eso permite mayor infiltración y menor escorrentía. Estos resultados coinciden con los encontrados por Quispe (2018) lo cual indica que las parcelas con cobertura vegetal nativa (*Festuca amethystina* L.) produjeron una menor pérdida de suelo, 10,901 t ha⁻¹año⁻¹, en comparación a las pérdidas de suelo de las parcelas con mulch, 17,18 t ha⁻¹ año⁻¹; las parcelas con cobertura natural, 28,651 t ha⁻¹año⁻¹; y las parcelas con suelo desnudo, 44,85 t ha⁻¹ año⁻¹, esta última cifra es once veces mayor a la tasa considerada máxima permisible por la FAO (4 t ha⁻¹ año⁻¹) para suelos de escasa profundidad) el cual indica que cobertura vegetal, actuó como un eficiente protector del suelo, disminuyendo la erosión hídrica del suelo.

Tabla 8

Resultados consolidados de las evaluaciones de la erosión hídrica del suelo con cobertura de trigo y pasto natural

Factor o variable	Niveles %	Tratamientos	Cobertura Vegetal (%)	Pérdida de Suelo (mm)	Densidad Aparente (t m⁻³)	Erosión (t ha⁻¹)
Pendiente	12	T₁	64	11,52	1,66	0,0191
	12	T₂	66	6,59	1,56	0,0103
	15	T₃	58	19,67	1,59	0,0313
	15	T₄	60	12,27	1,65	0,0203
	20	T₅	56	54,12	1,88	0,1017
	20	T₆	57	36,59	1,65	0,0604

En la Tabla 8, indican que los tratamiento T₁, T₃ y T₅ presentan una cobertura vegetal de trigo del 64 %, 58% y 56%, respectivamente. Los tratamientos T₂, T₄ y T₆ tienen una cobertura vegetal de pasto natural del 56% , 60% y 57 % respectivamente.

Los tratamientos T₂ y T₄ de pasto natural donde predominó las herbáceas (Aristida adsencionis, Trisetum spicatum) presentan la menor pérdida del suelo con 6,59 mm y 12,27 mm respectivamente, mientras que el tratamiento T₅ (Triticum aestivum) muestra la mayor pérdida de suelo con 54,12 mm.

Densidad aparente en los tratamientos T₂ y T₃ son de 1,56 t m⁻³ y 1,59 t m⁻³, están en rango de (1,45 t m⁻³ a 1,60 t m⁻³, esto indica, que son densidades aparentes altas; mientras que los tratamientos T₁, T₄, T₅ y T₆ son de 1,66 t m⁻³, 1,65 t m⁻³, 1,88 t m⁻³ y 1,65 t m⁻³ respectivamente, son mayores de 1,60 t m⁻³, es decir, son densidades aparentes muy altas.

La erosión hídrica del suelo, en cobertura vegetal de pasto natural en el tratamiento T₂ es de 0,0103 t ha⁻¹ presenta la menor erosión, seguido por T₄ con 0,0203 t ha⁻¹. El tratamiento T₅ registra la mayor erosión con 0,1017 t ha⁻¹.

Los tratamientos pares con cobertura vegetal de pasto natural presentan las menores erosiones, y son buenos protectores contra la erosión.

Se puede observar que la erosión varía según el pendiente y tipo de cobertura vegetal; suelos con cobertura vegetal de trigo la erosión hídrica del suelo es mayor que la de pasto natural en todos sus tratamientos y el porcentaje de cobertura vegetal de pasto natural es mayor que la de trigo en todos sus tratamientos. Esto se aprecia que la erosión disminuye con el incremento de pasto natural. Esto se debe porque las gotas de lluvia caen directamente al suelo descubierto de vegetación en trigo ocurriendo disgregación y desprendimiento de las partículas, dando como resultado menor infiltración y mayor escorrentía con ello un mayor arrastre de las partículas del suelo y mayor erosión; en cambio en los tratamientos pares la erosión hídrica del suelo es menor por las raíces densas de las herbáceas en donde hay mayor infiltración y poca escorrentía. Esto tiene una relación con Oropeza (2001), donde señaló que el uso de la cobertura vegetal en áreas agrícolas reduce la erosión de los suelos, ya que absorben la energía de la lluvia, disminuyendo el impacto de las gotas de lluvia, aumentan la infiltración del agua y se reduce el escurrimiento y su capacidad de transporte. (pp. 153-162)

4.4. Evaluación de la erosión hídrica del suelo en función de la precipitación

Tabla 9

Análisis de varianza (ANOVA) para la regresión de la erosión hídrica y precipitación

Fuentes de variación	Suma de cuadrados	Grados de libertad	Cuadrado medio	F Calculado	p-valor
Regresión	0,000005230	1	0,000005230	40,2164	0,0004
Residuos	0,000000910	7	0,000000130		
Total	0,000006140	8			

De la Tabla 9, se deduce que la suma de los cuadrados representa la variabilidad total en los datos. En este caso, la suma de los cuadrados de la regresión es de 0,000005230 y la suma de cuadrados de los residuos (error) es de 0,000000910.

Los grados de libertad indican el número de valores que son libres de variar en el análisis. En la regresión, se tiene un grado de libertad para la variable independiente (precipitación) y siete grados de libertad para los residuos.

El cuadrado medio se calcula dividiendo la suma de cuadrados entre los grados de libertad correspondientes. Nuestro caso, se obtiene un cuadrado medio de 0.000005230 para la regresión y 0,000000130 para los residuos.

El p-valor indica significancia estadística de la prueba. En nuestro caso, p-valor es de 0,0004, lo cual es menor que el nivel de significancia de 0,05. Por lo tanto, se concluye que hay una relación significativa entre la erosión hídrica y la precipitación

El análisis de varianza muestra que la regresión entre la erosión hídrica y la precipitación es altamente significativa ($p\text{-valor} < 0,05$). Esto implica que la variable independiente (precipitación) tiene un impacto significativo en la variable dependiente (erosión hídrica).

Figura 8

Erosión hídrica del suelo (t ha⁻¹) versus precipitación (mm)

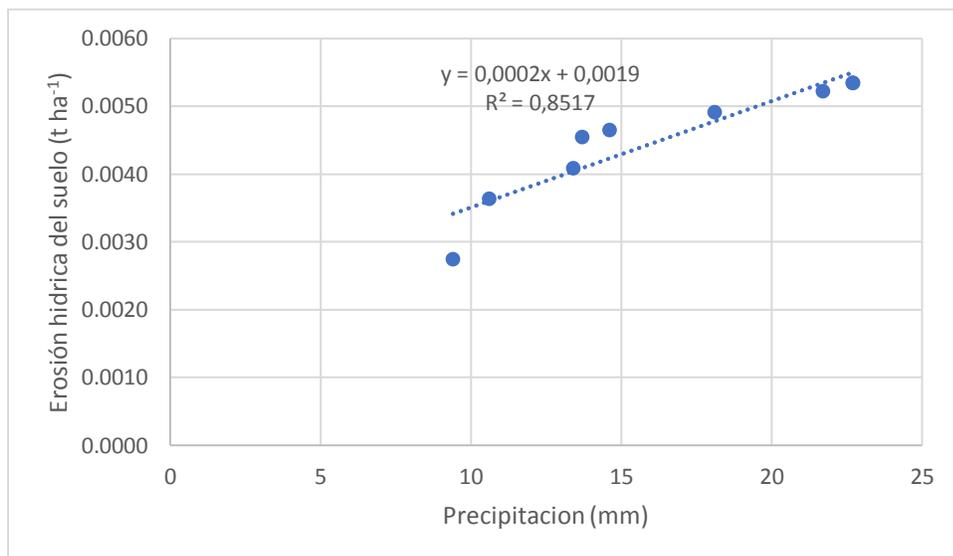
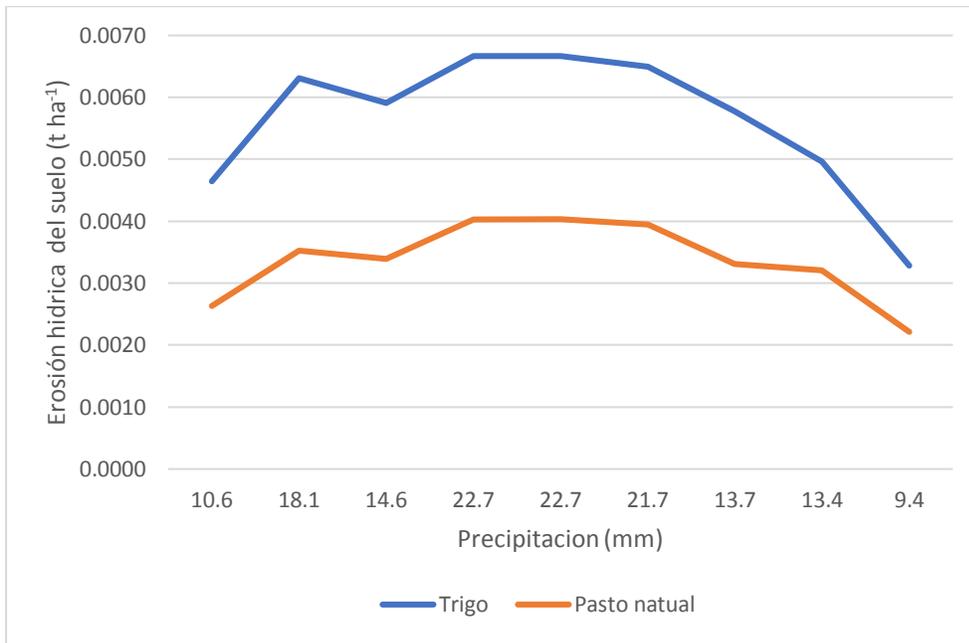


Figura 8, según el coeficiente de determinación calculado ($R^2 = 0,8517$) indica que 85,17 %, de la erosión hídrica del suelo se debe a la precipitación. Además, la relación entre las variables es directa y positiva, además si la pendiente aumenta la erosión hídrica de suelo también aumenta y coincide con la investigación de Quispe (2018) donde una lluvia que presentó una intensidad máxima de 7,9 mm, en cinco minutos, ocasionó la pérdida de 7530 kg de suelo por hectárea, mientras que otra lluvia muy similar en cantidad de agua, pero con una intensidad máxima de 2,2 mm, en cinco minutos, ocasionó una pérdida de suelo sólo de 4700 kg ha⁻¹, por lo que concluyó que a mayor intensidad y duración mayor será la cantidad de suelo que se pierde por efecto del agua de esorrentía. Porqué una gota de lluvia que impacta en el suelo, las partículas de este se esparcen; mientras mayor sea la velocidad de impacto, mayor será la cantidad de suelo esparcido.

Figura 9

Erosión hídrica del suelo ($t\ ha^{-1}$) en relación a la precipitación (mm)



En la Figura 9, se observa que, la variable independiente (precipitación) si influye en la erosión hídrica del suelo y menor en la cobertura vegetal de pasto natural con respecto a la cobertura vegetal de trigo. Además, usando ambas coberturas, la erosión presenta la misma tendencia, es decir, que en la presencia de mayor precipitación la erosión tiende a aumentar, y cuando la precipitación disminuye, la erosión también disminuye.

Tabla 10

Resultados de las evaluaciones de la erosión hídrica del suelo durante el período de experimentación

Pendiente (%)	Fecha Precipitación	Precipitación (mm)	Fecha de Medición	Repeticiones			Trigo (mm)	Erosión Hídrica del Suelo (t ha-1)	Repeticiones			Pasto Natural (mm)	Erosión Hídrica del Suelo (t ha-1)
				RI	RII	RIII			RI	RII	RIII		
12	5/01/2014	10,6	9/01/2014	1,06	1,05	1,05	1,05	0,00174	0,6	0,61	0,6	0,6	0,00094
	11/01/2014	18,1	15/01/2014	1,43	1,44	1,40	1,42	0,00236	0,82	0,83	0,83	0,83	0,00129
	18/01/2014	14,6	23/01/2014	1,39	1,38	1,37	1,38	0,00229	0,79	0,81	0,82	0,81	0,00126
	24/02/2014	22,7	28/02/2014	1,50	1,51	1,52	1,51	0,00251	0,89	0,9	0,91	0,90	0,0014
	17/03/2014	22,7	21/03/2014	1,51	1,52	1,53	1,52	0,00252	0,9	0,91	0,92	0,91	0,00142
	22/03/2014	21,7	29/03/2014	1,50	1,51	1,51	1,51	0,00251	0,87	0,88	0,89	0,88	0,00137
	24/04/2014	13,7	25/04/2014	1,27	1,26	1,24	1,26	0,00209	0,67	0,68	0,69	0,68	0,00106
	26/04/2014	13,4	30/04/2014	1,26	1,25	1,23	1,25	0,00208	0,66	0,66	0,67	0,66	0,00103
	10/05/2014	9,4	18/05/2014	0,63	0,62	0,62	0,62	0,00103	0,33	0,32	0,32	0,32	0,0005
Σ Promedios		146,9		11,55	11,55	11,47	11,52	0,01913	6,53	6,6	6,65	6,59	0,01027
15	5/01/2014	10,6	9/01/2014	1,96	1,95	1,97	1,96	0,00312	1,14	1,14	1,15	1,14	0,00188
	11/01/2014	18,1	15/01/2014	2,50	2,52	2,52	2,51	0,00399	1,4	1,42	1,43	1,42	0,00234
	18/01/2014	14,6	23/01/2014	2,16	2,17	2,18	2,17	0,00345	1,35	1,37	1,36	1,36	0,00224
	24/02/2014	22,7	28/02/2014	2,61	2,64	2,63	2,63	0,00418	1,64	1,65	1,66	1,65	0,00272
	17/03/2014	22,7	21/03/2014	2,60	2,62	2,62	2,61	0,00415	1,62	1,63	1,66	1,64	0,00271
	22/03/2014	21,7	29/03/2014	2,55	2,55	2,51	2,54	0,00404	1,6	1,57	1,56	1,58	0,00261
	24/04/2014	13,7	25/04/2014	2,09	2,12	2,14	2,12	0,00337	1,38	1,4	1,43	1,40	0,00231
	26/04/2014	13,4	30/04/2014	1,88	1,90	1,94	1,91	0,00304	1,3	1,33	1,35	1,33	0,0022
	10/05/2014	9,4	18/05/2014	1,18	1,23	1,25	1,22	0,00194	0,72	0,76	0,77	0,75	0,00124
Σ Promedios		146,9		19,53	19,70	19,76	19,67	0,03128	12,15	12,27	12,37	12,27	0,02025
20	5/01/2014	10,6	9/01/2014	4,82	4,83	4,85	4,83	0,00908	4,83	4,85	3,07	3,08	0,00508
	11/01/2014	18,1	15/01/2014	6,68	6,69	6,69	6,69	0,01258	4,2	4,21	4,22	4,21	0,00695
	18/01/2014	14,6	23/01/2014	6,38	6,37	6,38	6,38	0,01199	4,03	4,04	4,04	4,04	0,00667
	24/02/2014	22,7	28/02/2014	7,07	7,08	7,10	7,08	0,01331	4,83	4,84	4,83	4,83	0,00797
	17/03/2014	22,7	21/03/2014	7,10	7,08	7,08	7,09	0,01333	4,8	4,84	4,86	4,83	0,00797
	22/03/2014	21,7	29/03/2014	6,88	6,87	6,90	6,88	0,01293	4,75	4,77	4,79	4,77	0,00787
	24/04/2014	13,7	25/04/2014	6,33	6,29	6,32	6,31	0,01186	3,96	3,98	3,99	3,98	0,00657
	26/04/2014	13,4	30/04/2014	5,20	5,19	5,21	5,2	0,00978	3,87	3,89	3,88	3,88	0,0064
	10/05/2014	9,4	18/05/2014	3,65	3,67	3,65	3,66	0,00688	2,98	2,97	2,96	2,97	0,0049
Σ Promedios		146,9		54,11	54,07	54,18	54,12	0,10174	36,51	36,62	36,64	36,59	0,06038

Tabla 10, muestra que el promedio de precipitación mensual en el presente trabajo de investigación fue de 16,322mm; las lluvias han totalizado 146,9 mm (cinco meses) , en el periodo de evaluación la precipitación máxima fue de 22,7 mm en los meses de febrero y marzo. Se observó que a medida que la precipitación varia, la pérdida de suelo varia, por lo tanto, la erosión hídrica del suelo aumenta o disminuye según los milímetros de precipitación. Se debe a que el agua proveniente de la precipitación, no se infiltra en su totalidad, es decir una parte se queda en la superficie originando el agua de escorrentía, que al desplazarse sobre la superficie del suelo origina la erosión. Se sustenta con la investigación de Valdez (2014) en la provincia de Elqui, respecto al valor máximo para erosión se logró en el sector de Tangué 1, con una lámina de 1,49 mm, equivalentes a 18,49 t ha⁻¹ y en sector 5 de Las Cardas, donde los 1,64 mm de altura resultaron en una erosión acumulada de 19,82 t ha⁻¹. En la provincia de Limarí, el valor máximo se alcanza en el sector de Romeralsillo, con una erosión equivalentes a 1,01 mm, es decir, 13,99 t ha⁻¹.

4.5. Contrastación de hipótesis

Para el contraste de hipótesis se empleó el análisis de varianza (ANOVA) a una probabilidad del 0.05 (Ver Tablas 4 y 9).

4.5.1. Pendiente

Fuentes de variación	Grados de libertad	Suma de cuadrados	Cuadrado medio	F Calculado	p-valor
Pendiente	2	0,015167529	0,007583765	421188,1575	<0,0001

Ho: La pendiente no influye en la erosión hídrica del suelo.

H1: La pendiente influye en la erosión hídrica del suelo.

$\alpha = 0,05$ o 5%, nivel de significación.

p-valor < 0.0001, es menor a 5%, por tanto, se rechaza la hipótesis nula, en consecuencia, la pendiente influye significativamente en la erosión hídrica de suelo.

4.5.2. Cobertura vegetal

	Grados de libertad	Suma de cuadrados	Cuadrado medio	F Calculado	p-valor
Cobertura vegetal	1	0,0018755	0,001875502	104161,8611	<0,0001

Ho: La cobertura vegetal no influye en la erosión del suelo.

H1: La cobertura vegetal influye en la erosión hídrica del suelo.

$\alpha = 0,05$ o 5%, nivel de significación.

P = < 0,0001, es menor a 5%, por tanto, se rechaza la hipótesis nula, en consecuencia, la cobertura vegetal influye significativamente en la erosión del suelo.

4.5.3. Nivel de precipitación

Fuentes de variación	Grados de libertad	Suma de cuadrados	Cuadrado medio	F Calculado	p-valor
Nivel de precipitación	1	0,000005230	0,000005230	40,2164	0,0004

Ho: El nivel de precipitación no influye en la erosión hídrica del suelo.

H1: El nivel de precipitación influye en la erosión hídrica del suelo.

Nivel de significación 5%.

$P=0.0004$ menor a 5%, por tanto, se rechaza la hipótesis nula, en consecuencia, el nivel de precipitación influye significativamente en la erosión hídrica del suelo.

CAPÍTULO V

CONCLUSIONES

- Respecto a la erosión del suelo, se encontró que la cobertura vegetal influye significativamente (p -valor <0.05) por lo tanto, se rechazaron todas las hipótesis nulas planteadas en la erosión hídrica del suelo en función de la pendiente, cobertura vegetal y precipitación, se aceptaron las hipótesis alternativas.
- En los tratamientos: T₂ (pasto natural más pendiente 12%) , T₃ (trigo más pendiente 15%) sus densidades aparentes son altas por estar en el rango de 1,45-1,60 g cm⁻³; T₁(trigo más pendiente 12%), T₄ (pasto natural más pendiente 15%), T₅ (trigo más pendiente 20%) y T₆ (pasto natural más pendiente 20%), densidades aparentes son muy altas porque son mayores a 1,60 g cm⁻³ , además tiene gran porcentaje de arena lo cual favorece al crecimiento de las plantas.
- La textura del suelo en los tratamientos T₂ (pasto natural más pendiente 12%) , T₃ (trigo más pendiente 15%) fueron FrA y en los tratamientos T₁ (trigo más pendiente 12%) , T₄ (pasto natural más pendiente 15%), T₅ (trigo más pendiente 20%) y T₆ (pasto natural más pendiente 20%) fueron FrArA. Indican que los suelos francos son de mayor productividad agrícola, ya que tienen una proporción de arena, arcilla y limo.
- En la pendiente 20% con la cobertura vegetal de trigo se observó mayor erosión hídrica del suelo (0,1017 t ha⁻¹) y en la cobertura vegetal de pasto natural (*Aristida adsencionis*, *Trisetum spicatum*) se observó menor erosión (0,0604 t ha⁻¹)
- En la pendiente 12 % con la cobertura vegetal de trigo se observó menor erosión hídrica del suelo (0,0191 t ha⁻¹), con respecto a las pendientes 15% la erosión hídrica es (de

0,0313 t ha⁻¹) y 20% (0,1017 t ha⁻¹); con respecto a la cobertura vegetal de pasto natural (*Aristida adsencionis*, *Trisetum spicatum*) y pendiente 12% presentó la más baja erosión hídrica (0,0103 t ha⁻¹) con respecto a las pendientes 15% (0,0202 t ha⁻¹) y 20% (0,0604 t ha⁻¹).

- Los tretámenes pares T₂, T₄ y T₆ con cobertura de pasto natural presentaron menor erosión hídrica del suelo (0,0303 t ha⁻¹), con respecto a los tratamientos impares T₁, T₃ y T₅ con cobertura de trigo (0,0507 t ha⁻¹). Con la cual se afirma que la cobertura vegetal de pasto natural es una protectora de la erosión hídrica del suelo.
- Respecto a la precipitación total fue (de 146,9 mm), se observó una variabilidad para los valores presentados en los cinco meses de precipitación, porque la mayor precipitación es (de 22,7 mm) en los meses de febrero y marzo se obtiene una mayor erosión hídrica del suelo. Se afirma a mayor precipitación, mayor erosión hídrica del suelo o viceversa.

CAPÍTULO VI

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- AGRO RURAL. (2011). *Evaluación de la Erosión Hídrica en Áreas con Zanjas de Infiltración*. Investigación, Ministerio de Agricultura, Ayacucho. Recuperado el 4 de Setiembre de 2021
- Alva, E. (2011). Variaciones Térmicas y Pluviométricas como Indicadoras del Cambio Climático en el Valle de Cajamarca. (*Tesis de Doctor Gestión Ambiental y Recursos Naturales*). Universidad Nacional de Cajamarca.
- Alvarado Garcia, V. (03 de Febrero de 2016). *La vegetación como factor de control de la erosión* . Obtenido de Beneficios de la vegetación en el control de la erosión
- Álvarez Marquéz , J. (2020). *Principio básicos para el uso y manejo sostenible de ñlos suelos*. <http://monografias.umcc.cu/monos/2020/FCAgro/mo20288.pdf>
- Alvarez, A. (2019). Análisis Temporal del Nivel de la Erosión Hídrica de la Subcuenca del Rio Ichu 2013 y 2017. (*Tesis de Magister en Ciencias de Ingeniería*). Universidad Nacional de Huancavelica.
- Andrades, M., & et.al. (2015). *Prácticas de edafología. Métodos didácticos para análisis de suelos*. Universidad de la Rioja. Servicio de publicaciones.
- Cairns, & et al. (Junio de 2001). Soil conservation technical hanbdook. Welligton, Nueva Zelanda. <http://www.mfe.govt.nz/publications/land/soil>.
- Castillo, C. (2005). Selección y Calibración de indicadores Locales y Técnico para Evaluar la Degradación de los Suelos Laderas, en la Microcuenca Cuscuma el Tuma- la Dalia Mata Galpa, 2005. (*Trabajo de Diploma*). Universidad Nacional Agraria. <https://cenida.una.edu.ni/Tesis/tnp35c352.pdf>
- Chinn, L. (Noviembre de 2020-2021). https://www.ehowenespanol.com/caracteristicas-del-suelo-franco-arenoso-lista_125088/.
- Chinquiquira Vargas. (04 de mayo de 2016). *Capa arable del suelo, tecnicas para el muestreo del suelo*. <https://es.scribd.com/document/354333785/propiedad-agraria>.
- Díaz Mendoza, C. (08 de Agosto de 2019). *EROSIÓN NATURAL VS EROSIÓN ACELERADA*. <https://gaviones.co/erosion-natural-vs-erosion-acelerada/>
- Duque Escobar, G., & Escobar P, C. (8 de Agosto de 2019). *EROSIÓN NATURAL VS EROSIÓN ACELERADA*. <https://gaviones.co/erosion-natural-vs-erosion-acelerada/>
- Efecto de la cobertura vegetal de cultivos agrícolas principales sobre el proceso de erosión en suelos de la cuenca del río Cuyaguaje. (2007). https://www.researchgate.net/publication/305992862_Efecto_de_la_cobertura_vegetal_d

e_cultivos_agricolas_principales_sobre_el_proceso_de_erosion_en_suelos_de_la_cuenca_del_rio_Cuyaguateje

Favis-Morthock, D. (2007).

http://ctha.utralca.cl/Docs/pdf/Publicaciones/tesis_de_grado/leonardo_vega.pdf.

Fernández, V. (25 de Julio de 2017). *Cómo se realiza un muestreo de vegetación*.

[https://geoinnova.org/blog-territorio/como-se-realiza-un-muestreo-de-vegetacion/Fernández1, P. H., & Figueroa2, O. L. \(Enero de 2014\). Erosión hídrica en la cuenca alta del río Moche. *Ecología Aplicada*, 13. Recuperado el 4 de Setiembre de 2021,](https://geoinnova.org/blog-territorio/como-se-realiza-un-muestreo-de-vegetacion/Fernández1, P. H., & Figueroa2, O. L. (Enero de 2014). Erosión hídrica en la cuenca alta del río Moche. Ecología Aplicada, 13. Recuperado el 4 de Setiembre de 2021, http://www.scielo.org.pe/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1726-22162014000100002)

http://www.scielo.org.pe/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1726-22162014000100002

García, J. (2012). *La erosión: Aspectos conceptuales y modelos, La hidrología de superficie y consevación de suelos. Material de clases 2007*.[http://ocw.upm.es/ingeniería-agroforestal/hidrología de superficie y conservación de suelos/material de clases](http://ocw.upm.es/ingeniería-agroforestal/hidrología_de_superficie_y_conservación_de_suelos/material_de_clases).

GEOGRAPHIC, N. (5 de Setiembre de 2010). *Medio Ambiente*.

<https://www.nationalgeographic.es/medio-ambiente/deforestacion>.

Honorato et al. (28 de 1 de 2001). Obtenido de Evaluación del modelo USLE en la estimación de la erosión en seis localidades enre IV y IX Región de Chile. Obtenido de

<http://www.Reia.pue.el/Español/pdf/28-1/7-14.pdf>

Leal, Zuzell; Díaz, Jorge; Wuoter Schiettecatte, Wuoter; Ruiz, María; Yeleine Almoza, Yeleine. (Febrero de 2007). *Efecto de la cobertura vegetal de cultivos agrícolas principales sobre el proceso de erosión en suelos de la cuenca del río Cuyaguateje*.

<https://doaj.org/article/c81533feebfd476cb2ca28f80f05691f>

Mancilla Bascuán, H. B. (2006). Erosión en parcelas experimentales y redistribución de suelo mediante la concentración de 7 Be. 37. Recuperado el 4 de Setiembre de 2021, de

<https://www.mendeley.com/reference-manager/reader/90596e9a-f0e9-3e2f-bb45-ee942e4b5a62/190222cf-afbb-6dd3-1ae8-6f941e6eb063>

Mardones. (2007). *Influencia de la pendiente y la precipitación en la erosión de taludes desprotegidos*.

http://repobib.ubiobio.cl/jspui/bitstream/123456789/2284/1/Hernandez_Herrera_Daniel_Alejandro.pdf

Martin Duque, J. (2007). *Erosión hídrica carcavas y barrancos de la provincia de Segovia, España*.https://www.aulados.net/Geologia_yacimientos/Gullies_Segovia/Gullies_Segovia.pdf.

https://www.aulados.net/Geologia_yacimientos/Gullies_Segovia/Gullies_Segovia.pdf.

Matias, M., Gómez, J. D., & Monterroso, A. (24 de Marzo de 2020). Factores que influyen en la erosión hídrica del suelo en un bloque templado. *Revista Mexicana de Ciencias Forestales*, 11 (59). Recuperado el 4 de Setiembre de 2021, de

<https://doi.org/10.29298/rmcf.v11i59.673>

- Maycotte Morales, C. C., & el al. (2011). *Edafología- UAEH*.
<https://www.uaeh.edu.mx/investigacion/productos/4776/edafologia.pdf>
- Mendoza, I. C. (2013). Estimación de pérdida de suelo por erosión en microcuenca de la presa Madin, Mexico. <https://www.researchgate.net/scientific-contributions/Itzel-Castro-Mendoza-Castro-Mendoza-2218352871>
- National Weather Service. (29 de Noviembre de 2016). *Sequia*.
<https://pt.slideshare.net/233492/sequas-69657639>.
- Novillo, C. (Octubre de 2019). Recuperado el Martes de Octubre de 2023, de
<https://www.ecologiaverde.com/erosion-hidrica-definicion-tipos-causas-y-consecuencias-2172.html>
- Oropeza Mota, J. L. (2001). Efectos de la cobertura vegetal de cuatro cultivos sobre la erosión del suelo. *ScieElo*.
- Patricio. (2008). *Evaluación de la erosión hídrica superficial por parcelas experimentales en suelos desnudos de la región de Coquimbo*. Universidad Nacional de Huancavelica.
- Pizarro Tapia, R., & Cuitiño Martínez, H. (01 de 06 de 2002). *Evaluación de la erosión hídrica superficial en suelos desnudos en Chile*.
http://ctha.utralca.cl/Docs/pdf/Publicaciones/tesis_de_grado/leonardo_vega.pdf
- Quispe, T. (2018). *Influencia de la Cobertura Vegetal en la Erosión Hídrica del suelo en la Comunidad San Mateo, Perú [Tesis de maestría, Universidad Nacional Agraria La Molina]*. Repositorio Institucional.
<http://repositorio.lamolina.edu.pe/bitstream/handle/20.500.12996/3600/quispe-ojeda-teodosio-celso.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- Rubio Gutiérrez, A. M. (Julio de 2010). *La densidad aparente en suelos forestales del parque natural los Alcornocales*.
<https://digital.csic.es/bitstream/10261/57951/1/La%20densidad%20aparente%20en%20suelos%20forestales%20.pdf>
- Suarez De Castro, F. (1979). *Conservación de Suelos*. IICA.
- SUDAS. (2006). *Erosión por salpicadura y erosión laminar*.
http://ctha.utralca.cl/Docs/pdf/Publicaciones/tesis_de_grado/leonardo_vega.pdf.
- Tigmasa, L. (2020). Evaluación del Efecto del Cambio Climático como Amenaza para el Sector Agrícola de la Parroquia Izamba, Cantón Ambato. (*Magister en Aronomía Mención Cambio Climático*). Universidad Técnica de Ambato.
- Toboada, L. (2011). *Evaluación de la Erosión Hídrica en Áreas con Zanjias de Infiltración*. Ministerio de Agricultura, Ayacucho. Recuperado el 04 de Setiembre de 2021
- TRAXCO. (23 de Diciembre de 2014). *Capacidad de retención de agua del suelo*.
<https://www.traxco.es/blog/tecnologia-del-riego/retencion-de-agua-del-suelo>.

- Valdez, E. (2014). Análisis de la Pérdida de Suelos por Erosión Hídrica en la Subcuenca Conduriri Mediante la Metodología Rusle. (*Tesis de Ingeniero Agrícola*). Universidad Nacional del Altiplano.
- Vásquez, A., & Tapia M, M. (Diciembre de 2011). Cuantificación de la erosión hídrica superficial en las laderas semiáridas de la Sierra Peruana. *Revista Ingeniería UC*, 18(3), 42-50. Recuperado el 07 de Setiembre de 2021

CAPÍTULO VII

ANEXOS

7.1. Densidad aparente

Tabla 11

Densidad aparente en las parcelas

Tratamiento	Pendiente (%)	Parcelas	Cobertura vegetal	Densidad aparente			D.Ap Promedio (g cm⁻³)
T₁	12	1	Trigo	1,56	1,70	1,71	1,66
T₂	12	1	Pasto natural	1,34	1,70	1,63	1,56
T₃	15	2	Trigo	1,83	1,33	1,60	1,59
T₄	15	2	Pasto natural	1,56	2,01	1,38	1,65
T₅	20	3	Trigo	1,80	1,90	1,96	1,88
T₆	20	3	Pasto natural	1,59	1,61	1,74	1,65

7.2. Textura del suelo

Tabla 12

Textura del suelo en las parcelas

Tratamiento	Pendiente	Lectura (s)	Peso muestra (g)	Hidrómetro (g lt ⁻¹)	Termómetro calibrado (°F)	Termómetro calibrado (°F)	Termómetro (F°)	Lectura corregida (g lt ⁻¹)	Material suspendido	Arena (%)	Limo (%)	Cobertura vegetal
T ₁	12	40	50	21	68	68	0	21	42	58	0	Trigo
T ₁	12	02	50	11	68	70	02	10,6	21,2	21,2	20,8	Trigo
T ₂	12	40	50	21	68	68	0	21	42	58	0	Pasto Natural
T ₂	12	02	50	11	68	70	02	10,6	21,2	21,2	20,8	Pasto natural
T ₃	15	40	50	17	68	71	03	16,8	33,6	66,4	0	Trigo
T ₃	15	02	50	10	68	69	01	9,8	19,6	19,1	14,5	Trigo
T ₄	15	40	50	17	68	71	03	16,8	33,6	66,4	0	Pasto natural
T ₄	15	02	50	10	68	69	01	9,8	19,6	19,1	14,5	Pasto natural
T ₅	20	40	50	18	68	69	01	17,8	35,6	64,4	0	Trigo
T ₅	20	02	50	12	68	70	02	11,6	23,2	23,2	12,4	Trigo
T ₆	20	40	50	18	68	69	01	17,8	35,6	64,4	0	Pasto natural
T ₆	20	02	50	12	68	70	02	11,6	23,2	23,2	12,4	Pasto natural

7.3. Cobertura vegetal

Tabla 13

Consolidado de coberturas vegetales de trigo y pasto natural en la parcela 1

Tratamiento	Pendiente (%)	Pedregosidad (%)	Zonas sin Vegetación (%)	Cobertura Vegetal (Trigo) (%)
		10	27	63
		17	18	65
T₁	12	19	18	63
Promedio		15	21	64
		16	19	65
		16	17	67
T₂	12	19	15	66
Promedio		17	17	66

Tabla 14*Consolidado coberturas vegetales de trigo y pasto natural en la parcela 2*

Tratamiento	Pendiente (%)	Pedregosidad (%)	Zonas sin Vegetación (%)	Cobertura Vegetal (%)
T₃		16	25	59
		20	22	58
	15	20	22	58
Promedio		19	23	58
T₄	15	20	20	60
		20	19	61
		20	20	60
Promedio		20	20	60

Tabla 15*Consolidado de coberturas vegetales de trigo y pasto natural en la parcela 3*

Tratamiento	Pendiente (%)	Pedregosidad (%)	Zonas sin Vegetación (%)	Cobertura Vegetal (%)
T₅		20	24	56
		25	20	55
	20	23	20	57
Promedio		23	21	56
T₆	20	24	18	58
		25	18	57
		25	18	57
Promedio		25	18	57

Tabla 16

Cobertura vegetal de trigo

Método: m²

Pendiente: 12%; Cobertura: 63 %, 65%, 63%; Pedregosidad: 10 %, 17%, 19%

Zona desnuda :27%, 18%, 18%; Parcela:1;Tratamiento: T₁

Especie	N° Individuos	%	Nombre Vulgar
<i>Trisetum spicatum</i>	4	3	
<i>Pappobolus acutifolia</i>	4	3	
<i>Veronica arvensis</i>	43	29	
<i>Poa annua</i>	3	2	champa
<i>Pennisetum clandestinum</i>	4	3	kikuyo
<i>Triticum aestivum</i>	90	61	trigo
Total	148	100	
<i>Pappobolus acutifolia</i>	8	7	
<i>Veronica arvensis</i>	19	17	
<i>Pennisetum clandestinum</i>	1	1	kikuyo
<i>Triticum aestivum</i>	85	75	trigo
Total	113	100	
<i>Avena strigosa</i>	2	2	avena
<i>Avena strigosa</i>	6	5	
<i>Melilotus albus</i>	1	1	alfalfilla
<i>Pennisetum clandestinum</i>	4	4	kikuyo
<i>Triticum aestivum</i>	98	88	trigo
Total	111	100	

Tabla 17

Cobertura vegetal de pasto natural

Método: m²; Pendiente: 12; Cobertura:65%, 67%; 66%; Pedregosidad: 16%, 16%; 19%

Zona desnuda: 19%, 17%, 15%; Parcela 1; Tratamiento: T₂

Especie	N° Individuos	%	Nombre Vulgar
<i>Paspalum tuberosum</i>	13	17	nudillo
<i>Aristida adsencionis</i>	40	53	pajilla
<i>Veronica arvensis</i>	1	1	
<i>Avena strigosa</i>	7	9	avena
<i>Pennisetum clandestinum</i>	3	4	kikuyo
<i>Poa annua</i>	6	8	champa
<i>Desmodium molliculum</i>	1	1	pie de perro
<i>Melinis repens</i>	5	7	
Total	76	100	
<i>Paspalum tuberosum</i>	18	21	nudillo
<i>Melilotus albus</i>	3	4	alfalfilla
<i>Aristida adsencionis</i>	60	71	pajilla
<i>Pennisetum clandestinum</i>	3	4	kikuyo
<i>Solanum zahlbrucleneri</i>	1	1	cushay
Total	85	100	
<i>Paspalum tuberosum</i>	4	7	nudillo
<i>Aristida adsencionis</i>	45	75	pajilla
<i>Argemone subfusiformis</i>	1	2	
<i>Spartium junceum</i>	1	2	
<i>Pennisetum clandestinum</i>	4	7	kikuyo
<i>Rumex acetosella</i>	2	3	
<i>Veronica arvensis</i>	3	5	
Total	60	100	

Tabla 18*Cobertura vegetal de trigo*

Método: m²; Pendiente: 15%; Cobertura:59%, 58%, 58%; Pedregosidad:16%,20%, 20% ; Zona desnuda: 25%, 22%, 22%; Parcela:2 ; Tratamiento T₃

Especie	N° Individuos	%	Nombre Vulgar
<i>Veronica arvensis</i>	5	5	
<i>Triticum aestivum</i>	98	95	trigo
Total	103	100	
<i>Veronica arvensis</i>	7	7	
<i>Desmodium molliculum</i>	1	1	pie de perro
<i>Pennisetum clandestinum</i>	6	6	kikuyo
<i>Triticum aestivum</i>	90	87	trigo
Total	104	100	
<i>Veronica arvensis</i>	47	35	
<i>Paspalum tuberosum</i>	5	4	nudillo
<i>Pennisetum clandestinum</i>	2	1	kikuyo
<i>Bidens triplinervia</i>	1	1	cadillo
<i>Triticum aestivum</i>	80	59	trigo
Total	135	100	

Tabla 19*Cobertura vegetal de pasto natural***Método: m²; Pendiente: 15%; Cobertura:60%,61%, 60; Pedregosidad:20%,20%, 20;****Zona desnuda: 20%, 19%, 20%; Parcela:2 ; Tratamiento T₄**

Especie	N° Individuos	%	Nombre Vulgar
<i>Trisetum spicatum</i>	7	58	
<i>Pennisetum clandestinum</i>	2	17	kikuyo
<i>Poa annua</i>	2	17	champa
<i>Bidens triplinervia</i>	1	8	cadillo
Total	12	100	
<i>Trisetum spicatum</i>	18	39	
<i>Aristida adsencionis</i>	15	33	pajilla
<i>Milinis repens</i>	4	9	
<i>Bidens triplinervia</i>	2	4	cadillo
<i>Clandestinum clandestinum</i>	7	15	kikuyo
Total	46	100	
<i>Trisetum spicatum</i>	11	42	
<i>Milinis repens</i>	3	12	
<i>Pennisetum clandestinum</i>	6	23	kikuyo
<i>Veronica arvensis</i>	6	23	
Total	26	100	

Tabla 20*Cobertura vegetal de trigo***Método: m²; Pendiente: 20%; Cobertura:56%, 55%, 57%; Pedregosidad:20%, 25%, 23%;****Zona desnuda: 24%, 20% 20%; Parcela:3; Tratamiento T₅**

Especie	N° Individuos	%	
<i>Argemone subfusiformis</i>	1	1	
<i>Arcytophyllum thymifolium</i>	2	2	
<i>Bidens triplinervia</i>	2	2	
<i>Veronica arvensis</i>	15	15	
<i>Aristida adsencionis</i>	10	10	
<i>Pennisetum clandestinum</i>	3	3	
<i>Triticum aestivum</i>	70	68	
Total	103	100	
<i>Triticum aestivum</i>	100	88	trigo
<i>Pennisetum clandestinum</i>	5	4	kikuyo
<i>Veronica arvensis</i>	9	8	
Total	114	100	
<i>Pennisetum clandestinum</i>	6	5	kikuyo
<i>Triticum aestivum</i>	100	90	trigo
<i>Verbena litoralis</i>	1	1	verbena
<i>Veronica arvensis</i>	4	4	
Total	111	100	

Tabla 21*Cobertura vegetal de pasto natural**Método: m²; Pendiente: 20%; Cobertura: 58%, 57%, 57%; Pedregosidad: 24%, 25%, 25%**Zona desnuda: 18%, 18%, 18% Parcela: 3; Tratamiento T₆*

Especie	N° individuos	%	Nombre vulgar
<i>Aristida adsencionis</i>	70	79	pajilla
<i>Argemone subfusiformis</i>	1	1	cardosanto
<i>Pennisetum clandestinum</i>	17	19	kikuyo
<i>Bidens triplinervia</i>	1	1	cadillo
Total	89	100	
<i>Aristida adsencionis</i>	100	88	pajilla
<i>Pennisetum clandestinum</i>	10	9	kikuyo
<i>Trisetum spicatum</i>	3	3	
Total	113	100	
<i>Pennisetum clandestinum</i>	10	11	kikuyo
<i>Aristida adsencionis</i>	75	84	pajilla
<i>Melilotus</i>	1	1	alfalfilla
<i>Veronica arvensis</i>	3	3	
Total	89	100	

7.4. Medición de la erosión

Tabla 22

Mediciones de los clavos de erosión en la parcela 1 con trigo y pasto natural

Tratamiento	Pendiente	Fecha	Precipitación	Fecha	Resultado
o	e (%)	Precipitación	(mm)	de Medición	Parcial (mm)
					1,06
					1,05
T₁	12	5/01/2014	10,6	9/01/2014	1,05
Promedio					1,05
T₂	12	5/01/2014	10,6	9/01/2014	0,60
					0,61
					0,60
Promedio					0,60

Tabla 23*Mediciones de los clavos de erosión en la parcela 1 con trigo y pasto natural*

Tratamiento	Pendiente (%)	Fecha Precipitación	Precipitación (mm)	Fecha de Medición	Resultado Parcial (mm)
					1,43
					1,44
T₁	12	11/01/2014	18,1	15/01/2014	1,40
Promedio					1,42
					0,82
					0,83
T₂	12	11/01/2014	18,1	15/01/2014	0,83
Promedio					0,83

Tabla 24*Mediciones de los clavos de erosión en la parcela 1 con trigo y pasto natural*

Tratamiento	Pendiente (%)	Fecha Precipitación	Precipitación (mm)	Fecha de Medición	Resultado Parcial(mm)
					1,39
					1,38
T₁	12	18/01/2014	14,6	23/01/2014	1,37
Promedio					1,38
					0,79
					0,81
T₂	12	18/01/2014	14,6	23/01/2014	0,82
Promedio					0,81

Tabla 25*Mediciones de los clavos de erosión en la parcela 1 con trigo y pasto natural*

Tratamiento	Pendiente	Fecha	Precipitación	Fecha	Resultado
	(%)	Precipitación	(mm)	de Medición	Parcial (mm)
					1,50
					1,51
T₁	12	24/02/2014	22,7	28/02/2014	1,52
Promedio					1,51
					0,89
					0,90
T₂	12	24/02/2014	22,7	28/02/2014	0,91
Promedio					0,90

Tabla 26*Mediciones de los clavos de erosión en la parcela 1 con trigo y pasto natural*

Tratamiento	Pendiente (%)	Fecha precipitación	Precipitación (mm)	Fecha de Medición	Resultado Parcial (mm)
					1,51
					1,52
T₁	12	17/03/2014	22,7	21/03/2014	1,53
Promedio					1,52
					0,90
					0,91
T₂	12	17/03/2014	22,7	21/03/2014	0,92
Promedio					0,91

Tabla 27*Mediciones de los clavos de erosión en la parcela 1 con trigo y pasto natural*

Tratamiento	Pendiente (%)	Fecha precipitación	Precipitación (mm)	Fecha de Medición	Resultado Parcial (mm)
					1,50
					1,51
T₁	12	22/03/2014	21,7	29/03/2014	1,51
Promedio					1,51
					0,87
					0,88
T₂	12	22/03/2014	21,7	29/03/2014	0,89
Promedio					0,88

Tabla 28*Mediciones de los clavos de erosión en la parcela 1 con trigo y pasto natural*

Tratamiento	Pendiente	Fecha	Precipitación	Fecha	Resultado
	(%)	precipitación	(mm)	de Medición	Parcial (mm)
					1,27
					1,26
T₁	12	24/04/2014	13,7	25/04/2014	1,24
Promedio					1,26
					0,67
					0,68
T₂	12	24/04/2014	13,7	25/04/2014	0,69
Promedio					0,68

Tabla 29*Mediciones de los clavos de erosión en la parcela 1 con trigo y pasto natural*

Tratamiento	Pendiente	Fecha Precipitación	Precipitación (mm)	Fecha de Medición	Resultado Parcial (mm)
					1,26
					1,25
T₁	12	26/04/2014	13,4	30/04/2014	1,23
Promedio					1,25
					0,66
					0,66
T₂	12	24/04/2014	13,4	30/04/2014	0,67
Promedio de las Mediciones					0,66

Tabla 30*Mediciones de los clavos de erosión en la parcela 1 con trigo y pasto natural*

Tratamiento	Pendiente (%)	Fecha Precipitación	Precipitación (mm)	Fecha de Medición	Resultado Parcial (mm)
					0,63
					0,62
T₁	12	10/05/2014	9,4	18/05/2014	0,62
Promedio					0,62
					0,33
					0,32
T₂	12	10/05/2014	9,4	18/05/2014	0,32
Promedio					0,32

Tabla 31*Mediciones de los clavos de erosión en la parcela 2 con trigo y pasto natural*

Tratamiento	Pendiente (%)	Fecha Precipitación	Precipitación (mm)	Fecha de Medición	Resultado Parcial (mm)
					1,96
					1,95
T₃	15	5/01/2014	10,6	9/01/2014	1,97
Promedio					1,96
					1,14
					1,14
T₄	15	5/01/2014	10,6	9/01/2014	1,15
Promedio					1,14

Tabla 32*Mediciones de los clavos de erosión en la parcela 2 con trigo y pasto natural*

Bloque	Clave	Fecha	Precipitación	Fecha	Resultado
		Precipitación	(mm)	de	Parcial (mm)
				Medición	
					2,50
					2,52
T₃	15	11/01/2014	18,1	15/01/2014	2,52
Promedio					2,51
					1,40
					1,42
T₄	15	11/01/2014	18,1	15/01/2014	1,43
Promedio					1,42

Tabla 33*Mediciones de los clavos de erosión en la parcela 2 con trigo y pasto natural*

Tratamiento	Pendiente (%)	Fecha Precipitación	Precipitación (mm)	Fecha de Medición	Resultado Parcial (mm)
					2,16
					2,17
T₃	15	18/01/2014	14,6	15/01/2014	2,18
Promedio					2,17
					1,35
					1,37
T₄	15	18/01/2014	14,6	15/01/2014	1,36
Promedio					1,36

Tabla 34*Mediciones de los clavos de erosión en la parcela 2 con trigo y pasto natural*

Tratamiento	Pendiente (%)	Fecha Precipitación	Precipitación (mm)	Fecha de Medición	Resultado Parcial (mm)
					2,61
					2,64
T₃	15	24/02/2014	22,7	28/02/2014	2,63
Promedio					2,63
					1,64
					1,65
T₄	15	24/02/2014	22,7	28/02/2014	1,66
Promedio					1,65

Tabla 35*Mediciones de los clavos de erosión en la parcela 2 con trigo y pasto natural*

Tratamiento	Pendiente (%)	Fecha Precipitación	Precipitación (mm)	Fecha de Medición	Resultado Parcial (mm)
					2,60
					2,62
T₃	15	17/03/2014	22,7	21/03/2014	2,62
Promedio					2,61
					1,62
					1,63
T₄	15	17/03/2014	22,7	21/03/2014	1,66
Promedio					1,64

Tabla 36*Mediciones de los clavos de erosión en la parcela 2 con trigo y pasto natural*

Tratamiento	Pendiente (%)	Fecha Precipitación	Precipitación (mm)	Fecha de Medición	Resultado Parcial (mm)
					2,55
					2,55
T₃	15	22/03/2014	21,7	29/03/2014	2,51
Promedio					2,54
					1,60
					1,57
T₄	15	22/03/2014	21,7	29/03/2014	1,56
Promedio					1,58

Tabla 37*Mediciones de los clavos de erosión en la parcela 2 con trigo pasto natural*

Tratamiento	Pendiente (%)	Fecha Precipitación	Precipitación (mm)	Fecha de Medición	Resultado Parcial (mm)
					2,09
					2,12
T₃	15	22/04/2014	13,7	25/042014	2,14
Promedio					2,12
					1,38
					1,40
T₄	15	22/04/2014	13,7	25/04/2014	1,43
Promedio					1,40

Tabla 38*Mediciones de los clavos de erosión en la parcela 2 con trigo y pasto natural*

Tratamiento	Pendiente (%)	Fecha Precipitación	Precipitación (mm)	Fecha de Medición	Resultado Parcial (mm)
					1,88
					1,90
T₃	15	26/04/2014	13,4	30/04/2014	1,94
Promedio					1,91
					1,30
					1,33
T₄	15	26/04/2014	13,4	30/04/2014	1,35
Promedio					1,33

Tabla 39*Mediciones de los clavos de erosión en la parcela 2 con trigo y pasto natural*

Tratamiento	Pendiente (%)	Fecha Precipitación	Precipitación (mm)	Fecha de Medición	Resultado Parcial (mm)
					1,18
					1,23
T₃	15	10/05/2014	9,4	18/05/2014	1,25
Promedio					1,22
					0,72
					0,76
T₄	15	10/05/2014	9,4	18/05/2014	0,77
Promedio					0,75

Tabla 40*Mediciones de los clavos de erosión en la parcela 3 con trigo y pasto natural*

Tratamiento	Pendiente (%)	Fecha Precipitación	Precipitación (mm)	Fecha de Medición	Resultado Parcial (mm)
					4,82
					4,83
T₅	20	5/01/2014	10,6	9/01/2014	4,85
Promedio					4,83
					3,09
					3,08
T₆	20	5/01/2014	10,6	9/01/2014	3,07
Promedio					3,08

Tabla 41*Mediciones de los clavos de erosión en la parcela 3 con trigo y pasto natural*

Tratamiento	Pendiente (%)	Fecha Precipitación	Precipitación (mm)	Fecha de Medición	Resultado Parcial (mm)
					6,68
					6,69
T₅	20	11/01/2014	18,1	15/01/2014	6,69
Promedio					6,69
					4,20
					4,21
T₆	20	11/01/2014	18,1	15/01/2014	4,22
Promedio					4,21

Tabla 42*Mediciones de los clavos de erosión en la parcela 3 con trigo y pasto natural*

Tratamiento	Pendiente (%)	Fecha Precipitación	Precipitación (mm)	Fecha de Medición	Resultado Parcial (mm)
					6,38
					6,37
T₅	20	18/01/2014	14,6	15/01/2014	6,38
Promedio					6,38
					4,03
					4,04
T₆	20	18/01/2014	14,6	15/01/2014	4,04
Promedio					4,04

Tabla 43*Mediciones de los clavos de erosión en la parcela 3 con trigo y pasto natural*

Tratamiento	Pendiente (%)	Fecha Precipitación	Precipitación (mm)	Fecha de Medición	Resultado Parcial (mm)
					7,07
					7,08
T₅	20	24/02/2014	22,7	28/02/2014	7,10
Promedio					7,08
					4,83
					4,84
T₆	20	24/02/2014	22,7	28/02/2014	4,83
Promedio					4,83

Tabla 44*Mediciones de los clavos de erosión en la parcela 3 con trigo y pasto natural*

Tratamiento	Pendiente (%)	Fecha Precipitación	Precipitación (mm)	Fecha de Medición	Resultado Parcial (mm)
					7,10
					7,08
T₅	20	17/03/2014	22,7	21/03/2014	7,08
Promedio					7,09
					4,80
					4,84
T₆	20	17/03/2014	22,7	28/02/2014	4,86
Promedio					4,83

Tabla 45*Mediciones de los clavos de erosión en la parcela 3 con trigo y pasto natural*

Tratamiento	Pendiente	Fecha	Precipitación	Fecha	Resultado
	(%)	Precipitación	(mm)	de Medición	Parcial (mm)
					6,88
					6,87
T₅	20	22/03/2014	21,7	29/03/2014	6,90
Promedio					6,88
					4,75
					4,77
T₆	20	22/03/2014	21,7	29/03/2014	4,79
Promedio					4,77

Tabla 46*Mediciones de los clavos de erosión en la parcela 3 con trigo y pasto natural*

Tratamiento	Pendiente (%)	Fecha Precipitación	Precipitación (mm)	Fecha de Medición	Resultado Parcial (mm)
					6,33
					6,29
T₅	20	22/04/2014	13,7	25/04/2014	6,32
Promedio					6,31
					3,96
					3,98
T₆	P3T2	22/04/2014	13,7	25/04/2014	3,99
Promedio					3,80

Tabla 47*Mediciones de los clavos de erosión en la parcela 3 con trigo y pasto natural*

Tratamiento	Pendiente (%)	Fecha Precipitación	Precipitación (mm)	Fecha de Medición	Resultado Parcial (mm)
					5,20
					5,19
T₅	20	26/04/2014	13,4	30/04/2014	5,21
Promedio					5,20
					3,87
					3,89
T₆	20	26/04/2014	13,4	30/04/2014	3,88
Promedio					3,88

Tabla 48*Mediciones de los clavos de erosión en la parcela 3 con trigo y pasto natural*

Tratamiento	Pendiente	Fecha	Precipitación	Fecha de	Resultado
	(%)	Precipitación	(mm)	Medición	Parcial (mm)
					3,65
					3,67
T₅	20	10/05/2014	9,4	18/05/2014	3,65
Promedio					3,66
					2,98
					2,97
T₆	20	10/05/2014	9,4	18/05/2014	2,96
Promedio					2,97

Tabla 49*Consolidados de las evaluaciones de la pérdida de suelo (mm), en los seis tratamientos*

Pendiente	Cobertura	Repeticiones			Total	Promedio
		RI	RII	RIII		
(P)	(C)					(mm)
12		11,550	11,550	11,470	34,570	11,523
15	Trigo	19,530	19,700	19,760	58,990	19,663
20		54,110	54,070	54,180	162,360	54,120
12		6,530	6,600	6,650	19,780	6,593
15	Pasto natural	12,150	12,270	12,370	36,790	12,263
20		36,510	36,620	36,640	109,770	36,590

Tabla 50

Consolidados de las evaluaciones de la erosión hídrica del suelo ($t\ ha^{-1}$)

en los seis tratamientos

Pendiente (P)	Cobertura (C)	Repeticiones			Total	Promedio Erosión ($t\ ha^{-1}$)
		RI	RII	RIII		
12	Trigo	0,019173	0,019173	0,0190402	0,05739	0,0191
15		0,0310527	0,031323	0,0314184	0,09379	0,0313
20		0,1017268	0,1016516	0,1018584	0,30524	0,1017
12	Pasto natural	0,0101868	0,010296	0,010374	0,03086	0,0103
15		0,0200475	0,0202455	0,0204105	0,0607	0,0202
20		0,0602415	0,060423	0,060456	0,18112	0,0604

7.5.Fotografías

Figura 10

Colocación de la parafina a los terrones



Figura 11

Lectura del Volumen desplazado en la probeta para pendientes 12,15,20%



Figura 12

Determinación de la textura del suelo por el método de Bouyoucos



Figura 13

Parcela I de trigo en pendiente 12 %



Figura 14

Parcela II de trigo en pendiente 15%



Figura 15

Parcela III de trigo en pendiente 20%



Figura 16

Medición de la pérdida de suelo en pendiente 12%



Figura 17

Medición de la pérdida de suelo en pendiente 15%



Figura 18

Medición de la pérdida de suelo en pendiente 20%



Figura 19

Pasto natural en pendiente 12%



Figura 20

Pasto natural en pendiente 15%



Figura 21

Pasto natural en pendiente 20%

