

**UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA
LA MOLINA**

**ESCUELA DE POSGRADO
MAESTRÍA EN CIENCIAS AMBIENTALES**



**INFLUENCIA DE LA COBERTURA VEGETAL EN
LA EROSIÓN HÍDRICA DEL SUELO EN LA
COMUNIDAD DE SAN MATEO, PERÚ**

Presentada por:

TEODOSIO CELSO QUISPE OJEDA

**TESIS PARA OPTAR EL GRADO DE MAGISTER
SCIENTIAE EN CIENCIAS AMBIENTALES**

Lima-Perú

2018

UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA

LA MOLINA

ESCUELA DE POSGRADO

MAESTRÍA EN CIENCIAS AMBIENTALES

**INFLUENCIA DE LA COBERTURA VEGETAL EN LA EROSIÓN
HÍDRICA DEL SUELO EN LA COMUNIDAD DE SAN MATEO,
PERÚ**

**Tesis para obtener el grado de Magister Scientiae en Ciencias
Ambientales**

Presentada por:

Teodosio Celso Quispe Ojeda

Sustentada y aprobada ante el siguiente jurado:

.....
Mg. Sc. Víctor Miyashiro Kiyari

PRESIDENTE

.....
Dra. Lía Ramos Fernández

MIEMBRO

.....
Mg. Sc. Miguel Sánchez Delgado

MIEMBRO

.....
Mg. Sc. Sebastián Santayana Vela

PATROCINADOR

DEDICATORIA

El presente trabajo de investigación está dedicado a DIOS, porque siempre está presente en mi vida, dándome su bendición. De igual modo, a mi madre, mi esposa e hijos por su invaluable apoyo, estímulo y confianza hacia mí.

AGRADECIMIENTO

A Jesucristo, por todas las bendiciones que derrama sobre mí y mi familia.

Al Mg. Sc. Sebastián Santayana Vela, mi asesor y amigo, por su orientación y el tiempo dedicado a la elaboración del presente trabajo de investigación.

A mis padres, que desde el cielo derraman sus bendiciones para lograr mis objetivos.

ÍNDICE GENERAL

	Pág
I. INTRODUCCIÓN	1
II. REVISIÓN DE LITERATURA.....	3
2.1 LA EROSIÓN EN EL PERÚ Y EL MUNDO	3
2.2 ECUACIÓN UNIVERSAL DE PÉRDIDA DE SUELO	4
2.3 MEDICIÓN DE LA EROSIÓN DE SUELO	6
2.4 EFECTO DE COBERTURA EN LA EROSIÓN HÍDRICA	8
2.5 MEDICIÓN DE LA EROSIÓN HÍDRICA.....	9
2.6 FACTORES QUE INTERVIENEN EN EL PROCESO DE LA EROSIÓN HÍDRICA	10
2.6.1 FACTOR PRECIPITACIÓN.....	10
2.6.2 FACTOR ACTIVIDAD HUMANA	11
2.6.3 FACTOR TOPOGRAFIA.....	13
2.7 TIPOS DE EROSION HÍDRICA	14
2.7.1 EROSIÓN LAMINAR.....	14
2.7.2 EROSIÓN POR SURCOS	14
2.7.3 EROSIÓN POR CARCAVAS	14
2.7.4 EROSION FLUVIAL	15
2.8 TRANSPORTE.....	15
2.9 MOVIMIENTOS EN MASA	15
2.9.1 DESLIZAMIENTOS	16
2.9.2 DERRUMBES	16
2.9.3 FLUJOS.....	16
III. MATERIALES Y MÉTODOS	17
3.1 ZONA DE ESTUDIO	17
3.1.1 UBICACIÓN GEOGRÁFICA	17
3.1.2 FISIOGRAFÍA	18

3.1.3	ECOLOGÍA.....	18
3.1.4	CLIMA	18
3.1.5	SUELOS	20
3.1.6	EROSIÓN.....	20
3.1.7	USO ACTUAL DE LOS SUELOS	21
3.2	MATERIALES	21
3.2.1.	HERRAMIENTAS Y EQUIPOS	21
3.3	METODOLOGÍA	22
3.3.1	FASE DE GABINETE INICIAL.....	22
3.3.2	FASE DE CAMPO	22
3.3.3	FASE DE LABORATORIO	27
3.3.4	FASE DE GABINETE FINAL	27
3.4	FACTORES DE ESTUDIO.....	28
3.5	DISEÑO EXPERIMENTAL	28
3.6	PROCESAMIENTO DE LA INFORMACIÓN	29
IV.	RESULTADOS Y DISCUSIÓN	30
4.1	CARACTERIZACIÓN DE SUELO	30
4.2	PÉRDIDAS DE SUELO	30
V.	CONCLUSIONES	43
VI.	RECOMENDACIONES	44
VII.	REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	45
VIII.	ANEXOS	52
	ANEXO 1. ANALISIS DE SUELO.....	53
	ANEXO 2. ÁLBUM DE FOTOGRAFÍAS.....	54
	ANEXO 3. ANÁLISIS ESTADÍSTICOS	58

ÍNDICE DE TABLAS

	Pág
Tabla 1: Valores de erosión por continentes	4
Tabla 2: Ubicación geográfica de las parcelas	17
Tabla 3: Variación mensual de la precipitación en San Mateo (2015-2016)	19
Tabla 4: Variables de estudio	28
Tabla 5: Lámina erosionada por tratamiento	30
Tabla 6: Datos mensuales de lámina de suelo erosionada (mm).	31
Tabla 7: Datos mensuales de pérdida de suelo (t/ha)	32
Tabla 8: Suelo erosionado acumulado por parcelas	33
Tabla 9: Suelo erosionado acumulado	34
Tabla 10: Promedio de masa acumulada por mes	37
Tabla 11: Análisis de varianza.....	38
Tabla 12: Intervalo de confianza de los tratamientos	39
Tabla 13: Prueba de Tukey de comparación por tratamientos	39

ÍNDICE DE FIGURAS

	Pág
Figura 1: Medición de erosión en varillas	10
Figura 2. Ubicación de la zona de estudio.....	17
Figura 3: Plano de ubicación y distribución de los tratamientos.....	25
Figura 4: Diseño de una parcela con sus respectivas varillas.....	26
Figura 5: Arandela para medir la pérdida de suelo.....	26
Figura 6: Lámina de suelo pérdida por erosión	31
Figura 7: Pérdida de suelo por erosión	32
Figura 8. Suelo erosionado acumulado, en forma mensual.....	34
Figura 9: Suelo erosionado y precipitación mensual.....	35
Figura 10. Variación anual de suelo erosionado.....	36
Figura 11: Prueba de normalidad de cobertura de suelo: Software Minitab	38
Figura 12: Gráfico radar de diferencia de pérdida de masa por tratamientos.....	41

RESUMEN

El objetivo del presente estudio fue evaluar los niveles de pérdida de masa de suelo por la erosión hídrica. El trabajo se realizó en una ladera de la comunidad de San Mateo, Lima; ubicada entre las coordenadas UTM 358 153,502 a 358 159,545 Este y 8 699 926,305 a 8 699 941,252 Norte, con una altitud de 3320 m.s.n.m., desde setiembre del 2015 a agosto del 2016., con cuatro tratamientos, en cuatro bloques, con 16 varillas por parcela, que sirvieron de indicador de pérdida de masa de suelo, midiéndose la erosión laminar sobre las varillas, en un área total de 129,96 m². El tipo de estudio fue experimental, longitudinal, prospectivo, utilizando el diseño completamente al azar y la prueba de Tukey al nivel de confianza de 95 por ciento para determinar las diferencias entre los tratamientos. Los resultados indican que las parcelas con cobertura vegetal nativa (*Festuca amethystina* L.) produjeron una menor pérdida de suelo, 10,901 t/ha-año, en comparación a las pérdidas de suelo de las parcelas con mulch, 17,18 t/ha-año; las parcelas con cobertura natural, 28,651 t/ha-año; y, las parcelas con suelo desnudo, 44,85 t/ha-año, esta última cifra es once veces mayor a la tasa considerada máxima permisible por la FAO (4 t/ha-año, para suelos de escasa profundidad). La cobertura vegetal, actuó como un eficiente protector del suelo, disminuyendo considerablemente la erosión hídrica.

Palabras claves: Cobertura vegetal, ecosistema, erosión, suelo.

SUMMARY

The objective of the present study was to evaluate the levels of soil loss due to water erosion. The work was carried out from september 2015 to august 2016 at a hillside in the community of San Mateo, Lima; located between the UTM coordinates 358 153,502 East- 8 699 926,305 North and 358 159,545 East- 8 699 941,252 North, with an altitude of 3320 meters above sea level. Sixteen plots were installed, with four treatments, in four blocks, with 16 rods per plot, which served as an indicator the soil loss, measuring the laminar erosion on the soils, in a total area of 129,96 m². The study was experimental, longitudinal, and prospective in time with a stadistical random design, using Tukey at the 95 percent confidence level to determine the differences between treatments. The results indicated that the plots covered with native vegetation (*Festuca amethystina* L.) produced a lower soil loss , 10,901 ton/ha-year, in comparison to the soil losses of the plots with mulch, 17,18 ton/ha-year; natural cover, 28,651 ton/ha-year; and, the plots with bare soil, 44,85 tons/ha-year. This last control is eleven times greater than the maximum rate considered by the FAO (4 tons/ha-year, for shallow soils). The vegetal cover, acted as an efficient protector of the soil diminishing considerably the effect of the water erosion.

Keywords: Vegetable cover, ecosystem, erosion, soil.

I. INTRODUCCIÓN

La erosión hídrica es un proceso de pérdida del suelo que se inicia desde el momento en que las gotas de lluvia impactan sobre la superficie del suelo. La magnitud de dicho proceso depende del tamaño y velocidad de las gotas de lluvia, topografía del terreno, contenido de materia orgánica, cobertura vegetal y el tipo de suelo (Pastor, 1992). El proceso erosivo es intensificado cuando interviene el hombre, ya sea por prácticas agrícolas inadecuadas, deforestación, sobrepastoreo; así como, las modificaciones hidrológicas del área; y, finalmente, el abandono de las tierras por procesos de degradación y erosión. El proceso de remoción de masas de suelo, puede conllevar a otros peligros como huaycos, avalanchas, causando inundaciones, interrupción de vías de transporte y canales de riego, etc.

La presencia de precipitaciones de alta intensidad, con valores de 500 a 600 mm/año, más la pocas prácticas de conservación de suelos y la topografía accidentada, producen el arrastre de partículas del suelo, conduciendo a un proceso lento pero seguro de desertificación; lo cual, indudablemente, constituye un problema socioeconómico ambiental, que se debe tomar en cuenta en los diferentes niveles de toma de decisiones de las autoridades.

Las áreas de cultivo en la sierra del Perú se ubican, principalmente, en zonas de ladera con alta pendiente, que genera una pérdida permanente de suelo por efecto de las lluvias y del riego por gravedad. La pérdida de suelo por erosión hídrica es, mucho más rápida que la formación misma del suelo, que conlleva a la pérdida de la capa superficial del mismo, disminuyendo su fertilidad; y, en consecuencia, la baja productividad de los cultivos y pastos naturales.

La erosión hídrica es un fenómeno importante en el Perú, al cual se ha prestado muy poca atención, desde la época de la colonia, por parte de las diferentes instituciones del Estado y de los mismos agricultores. Sin embargo, se puede mencionar al Programa Nacional de Manejo de Cuencas Hidrográficas y Conservación de Suelos (PRONAMACHCS), hoy Programa de Desarrollo Productivo Agrario Rural (AGRORURAL), realizaron esfuerzos, desde hace tres décadas, efectuando mediciones en algunas microcuencas del país y trabajos de conservación de suelos, tales como la reforestación.

Bajo este contexto, la falta de información sobre la cuantificación de la erosión hídrica, hace que el problema no sea totalmente visible, a pesar de los bajos niveles de productividad de los cultivos sembrados en estas condiciones. Sin embargo, es un problema que ha de ser considerado, con el fin de realizar los correctivos necesarios para mitigar el proceso de desertificación. Por ello, en el presente trabajo de investigación se realizó la evaluación cuantitativa de erosión hídrica en suelos de ladera; además, de evaluar diferentes tipos de cobertura del suelo, con la finalidad de tener alternativas de solución y hacer frente al problema.

En tal sentido, el presente trabajo tiene como objetivo principal: evaluar la influencia de la cobertura en la pérdida de suelo por erosión hídrica en la comunidad de San Mateo, distrito de San Mateo, provincia de Huarochirí, departamento de Lima; y, como objetivos específicos: determinar la erosión laminar promedio, en las parcelas tratadas, utilizando el método de varillas de erosión; analizar las diferencias que existen entre los diferentes tipos de coberturas, en relación a las pérdidas de suelos; y, finalmente, determinar la cobertura que genera la menor erosión laminar de suelo, entre los tratamientos evaluados.

II. REVISIÓN DE LITERATURA

2.1 LA EROSIÓN EN EL PERÚ Y EL MUNDO

La erosión hídrica es un fenómeno de importancia en el Perú, con poca atención prestada por parte de las diferentes instituciones del Estado; solo se hicieron estudios de manera limitada por el PRONAMACHCS (actualmente AGRO RURAL) que ha llevado a cabo mediciones en varias microcuencas del país y algunos trabajos de investigación, realizados por algunas Universidades. PRONAMACHCS (1988) ha estimado que en el Perú, se vierte anualmente al Océano Pacífico, a través de las descargas de los ríos, una cantidad de sedimentos equivalentes a 318,00 ha/año, equivalente a una profundidad de 20 cm.

La FAO (1992), indica que alrededor de 202 millones de hectáreas, se encuentran en proceso de degradación acentuada en cinco países de América Latina: Argentina, Bolivia, Chile, Brasil y Paraguay; de las cuales el 46 por ciento se encuentran afectadas por erosión hídrica.

Según ONERN (1984), la erosión laminar es el proceso que afecta a la mayoría de las tierras del Perú con 49 193 860 ha. Además, indica que el 15 por ciento de las tierras (18 900 000 ha, se encuentran afectadas por erosión de moderada a severa; y, en el 85 por ciento, es de ligera a moderada; también afirma que en la sierra, la erosión se torna dramática por la pérdida de 1 400 000 ha.

Fournier (1960), analizó las cargas de sedimentos de 140 ríos de Europa, Asia, y Estados Unidos, encontrando una fuerte correlación entre la degradación específica (ton/ha-año) y los valores de coeficiente orográfico de la cuenca y distribución mensual de la pluviometría. Aplicando su metodología obtuvo los valores en los diferentes continentes, haciendo notar que las pérdidas medias de suelo por erosión hídrica más altas están en África y América del Sur, con valores que exceden 700 t/ha-año.

Low (1987), menciona que las cifras de carga de sedimentos en suspensión permiten identificar las cuencas que presentan la erosión más intensa; y, de allí, las que evidencian la mayor proporción de la erosión acelerada. Por ello, indica que una de las zonas con mayor erosión del planeta se encuentra en China, donde se registra degradación específica de 7308 TM/km² (río Lo), 7158 TM/km² (río Ching), 2804 TM/km² (río Huang o Amarillo) y 2774 TM/km² (río Kosi). En comparación, el río Amazonas, Misissippi y Nilo muestran cifras mucho más bajas.

En la Tabla 1, se presenta los valores de la erosión promedio por continentes.

Continentes	Erosión (ton/ha-año)
África	715
Sudáfrica y El Caribe	710
Asia	610
América del Norte	491
Australia	273
Europa	84

Tabla 1: Valores de erosión por continentes

FUENTE: Low (1987)

Según Llerena (1988), en el Perú existe muy poca información cuantitativa sobre la medición de la erosión hídrica. Menciona que la erosión es un proceso físico, definido como el desprendimiento y arrastre de partículas de suelo por acción del agua de lluvia que genera muchos problemas ambientales.

2.2 ECUACIÓN UNIVERSAL DE PÉRDIDA DE SUELO

En Estados Unidos, Wischmeier y Smith (1961), efectuaron estudios por más de veinte años en parcelas de escorrentía. Procesaron los datos y evaluaron los diversos factores que afectan la pérdida de suelo, obteniendo así la denominada Ecuación Universal de Pérdida de Suelo, modelo empírico que permite estimar el promedio de la pérdida de suelo en áreas específicas bajo cultivos específicos y sistemas de manejo.

Esta ecuación es aplicable, fundamentalmente, para las regiones templadas; y, es usada con mucha frecuencia en la planificación del uso del agua y del suelo. Se considera como criterio de decisión que la erosión que se produzca sea mínima e inferior a un límite de tolerancia establecido, donde los resultados son comparados con los estándares de pérdida de suelos por la erosión hídrica manteniéndose dentro del rango adecuado para disminuir el grado de desertificación.

Esta ecuación está representada por:

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

Donde:

A: Promedio de pérdida de suelo, calculada durante el periodo dado para R (tn/ha)

R: Factor de erosividad de las lluvias.

K: Factor de erodabilidad del suelo.

LS: Factor de longitud e inclinación de la pendiente.

C: Factor de cobertura y manejo de los suelos.

P: Factor de prácticas de conservación de suelo.

La cuantificación de resultados se realiza de la siguiente forma:

- **Capacidad erosiva de la lluvia (R):** refleja la intensidad y frecuencia de las lluvias. Son los promedios anuales donde representa la suma de ciertas características de las lluvias individuales que tiene relación directa con la erosión: la energía (E) y la intensidad máxima en treinta minutos de lluvia (I_{30}).

El índice EI_{30} se calcula de acuerdo a la siguiente expresión:

$$EI_{30} = EC * I_{30}$$

Donde:

EI_{30} : Índice de erosividad ($Kg/m^2 * mm/hr$)

EC : Energía cinética total de la lluvia (Kg/m^2)

I_{30} : Máxima intensidad en 30 minutos (mm/hr)

La suma de los valores de EI para todas las lluvias en el año es el factor R.

- **Erodabilidad de los suelos (K):** pérdida de suelo por unidad de área y por unidad de índice de erosión, para una pendiente de dimensiones específicas (nueve por ciento de pendiente y 22,13 m de largo). Algunos suelos se erosionan más fácilmente que otros; los más erosionables tienen un valor mayor de K. Este factor expresa la pérdida que ocurre en un suelo en barbecho sin la influencia de cultivo de cobertura.
- **Longitud e inclinación de la pendiente (LS):** factor definido como la relación de pérdida de suelo entre un campo de longitud y pendiente determinado y la parcela empleada para calcular el factor K, de dimensiones estándar: nueve por ciento y 22,13 m de largo.
- **Cobertura y manejo de los suelos (C):** factor que combina el tipo de cultivo, rotación de los mismos y las diferentes prácticas de manejo, para estimar la pérdida de suelo, dependiendo también del crecimiento y desarrollo del cultivo. Para ello, es necesario conocer la probable distribución de las lluvias erosivas durante los 12 meses del año y el grado de protección que da la cobertura y práctica de manejo, durante el tiempo en que ocurren las lluvias erosivas (Paulet, 1968).
- **Prácticas de conservación (P):** relación de pérdida de suelo en un campo con prácticas de manejo específicas, como cultivos en contorno, cultivo en fajas, terrazas, etc, con respecto a la pérdida de suelo cuando el cultivo es en el sentido de la inclinación de la pendiente.

2.3 MEDICIÓN DE LA EROSIÓN DE SUELO

Mendoza y Tinoco (1994), concluyeron que para complementar el análisis de los resultados debe tomarse en cuenta los registros de precipitación en los periodos que dura la investigación y correlacionarla con la cantidad de suelo perdido (P).

$$P = H * A * Dap$$

Donde:

P: Pérdida de suelo.

H: Altura de lámina perdida

Dap: Densidad aparente del suelo

Llerena (1988), indica que dadas las condiciones del Perú, el uso de clavos o de varillas de erosión es un método muy útil y promisorio con ventajas, tales como: medición directa y

simple; bajo costo, fácil disponibilidad de materiales y durabilidad aceptable; bajo riesgo de pérdida; y, puede usarse, también, para medir erosión eólica, fluvial, etc.

Según la FAO (1969), la cantidad de degradación permisible o tolerable en cifras, oscila entre 2 y 12,5 t/ha-año, según los tipos de suelo, su profundidad y propiedades físicas. Generalmente, se ha venido admitiendo que una pérdida de 12,5 t/ha-año, que es el máximo aceptable para suelos bastante profundos, permeables y bien drenados. Pérdidas de 2 a 4 t/ha-año han sido también consideradas como admisibles con subsuelo desfavorable y que presenta escasa profundidad.

Según Haig (1977), un clavo de erosión se constituye básicamente en un Benchmark y que bien puede ser una pieza de metal, como fierro de construcción, barra angular, alambre grueso o varilla de soldadura; también puede usarse estacas de madera. Asimismo, afirma que de los métodos simples ensayados para medir la erosión superficial de los suelos, el que ha logrado mayor aceptación de aplicación práctica, es el que emplea “varillas de erosión” o clavos de erosión. La efectividad y precisión del método ha sido validada por diferentes investigadores, a lo largo de varias décadas en diferentes partes del mundo.

Por otro lado, Pizarro y Cuitiño (2003) indican que el método de los clavos de erosión es adecuado para cuantificar la erosión y sedimentación que puede ocurrir en el mismo lugar. La escorrentía y pérdida de suelo son significativamente influenciadas si es que la pendiente es convexa, cóncava, compleja o regular (Alegre, 1979)

Según Buckman y Brady (1966), las características más significativas del suelo que influyen sobre la erosión son: la capacidad de infiltración y la estabilidad estructural del suelo.

Por las características semiáridas, unidas a las condiciones topográficas y de precipitación de la sierra peruana, en la época incaica, en las laderas se construyeron andenes, tanto en áreas bajo riego, como en áreas de secano. Según varios investigadores dichas áreas sumaron varios millones de hectáreas; asimismo, manejaron adecuadamente la cubierta vegetal tanto de pastos como forestales a fin de amortiguar el efecto de la lluvia sobre el suelo y mantener los manantiales en las partes bajas y medias de la cuenca; es decir, lograron mantener un cierto equilibrio en el aprovechamiento y manejo de los recursos naturales de dichas áreas.

Dadas las condiciones socioeconómicas y naturales de las zonas de ladera de la sierra altoandina, durante las dos últimas décadas se ha dado cierta importancia al desarrollo de trabajos de conservación de suelo y agua; a fin de amortizar el acelerado proceso de desertificación, que amenaza seriamente a esta región del país, por constituir un serio problema socio económico y ambiental; y, más aún, si en esta zona se produce la mayor cantidad de agua, constituyéndose en un verdadero “colchón acuífero” y de vital importancia para la población asentada en las partes media y baja de las cuencas, tanto de la propia sierra como de la costa.

2.4 EFECTO DE COBERTURA EN LA EROSIÓN HÍDRICA

Según Llerena (1988), el potencial de erosión de una lluvia, tanto 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.

Una cubierta vegetal, normalmente, debe cumplir su función cuando la copa, la capa de hojarasca y su sistema radicular minimizan totalmente el grado de erosión. Una plantación juega un rol sumamente importante en la tasa de infiltración de un suelo, permitiendo incluso recarga del nivel freático, alimentando así el escurrimiento base. Este efecto origina que el escurrimiento superficial sea mínimo y consecuentemente, su poder erosivo sea bajo. (Lemus y Navarro, 2003).

Alegre (1979), determinó que la aplicación de los rastrojos de los cultivos como el mulch, labranza mínima y rotación de cultivos, redujo la erosión a una tercera parte con relación a la obtenida por la misma rotación pero sin la aplicación de mulch.

Bertoni (1960), opina que los cultivos de rápido crecimiento pueden ser denominados cultivos conservadores del suelo, comparados con aquellos que requieren un mayor tiempo y pueden ser, por lo tanto, denominados cultivos de agotamiento del suelo. Sin embargo, esta característica debe ser complementada con otras, tales como el hábito de ramificación. En un estudio en el estado de Sao Paulo (Brasil), fue relativo al efecto de diferentes cultivos sobre las pérdidas de suelo y agua. Encontró que el pasto protegió mejor al suelo, siendo los suelos con arbustillos los que presentaron las mayores pérdidas.

Según Mamani (1990), el mulching es una capa protectora de material vegetal seco que se aplica sobre un terreno descubierto para proteger del impacto de las gotas de lluvia, mostrando que tanto la escorrentía como la erosión decrecen significativamente. El escurrimiento después de aplicar 64 mm de lluvia a un suelo limoso cubierto con mulch a razón de 8 mg/ha (95 por ciento de cobertura) decrece en un 10 por ciento. Para la aplicación de 2, 0,5 y 0 mg/ha (61; 25 y 0 por ciento de cobertura, respectivamente), la pérdida de suelo decrece en forma exponencial inversa, por ejemplo para la cobertura del 95 por ciento, la pérdida de suelo es cero.

2.5 MEDICIÓN DE LA EROSIÓN HÍDRICA

El área seleccionada para la construcción de la parcela debe ser lo más representativa posible de las condiciones de la zona, en cuanto a altura, pendiente, suelo y precipitación (Rebaza, 1977).

Zachar (1982), citado por Mamani (1990), indica que cuando la pendiente es muy empinada, se incrementa el coeficiente de escurrimiento, la energía cinética, la capacidad de acarreamiento del flujo superficial y la erosión por salpicaduras; la estabilidad del suelo y la pendiente decrece; por tanto, la erosión del suelo se incrementa con el crecimiento de la pendiente. Menciona que un suelo de baja permeabilidad con cultivo de maíz, la erosión de suelo se incrementa de 158,8 a 243,7 t/ha, cuando la inclinación del suelo es incrementada de 8 a 20 por ciento. En un suelo con alta permeabilidad con cultivo de algodón, la pérdida de suelo es incrementado de 50,1 t/ha cuando la inclinación de la pendiente se encuentra de 8,7 a 16,5 por ciento.

La inclinación de la pendiente es el factor topográfico más importante porque produce mayores efectos. Cuando la inclinación de la pendiente aumenta al doble, la erosión aumenta más del doble (FAO, 1983)

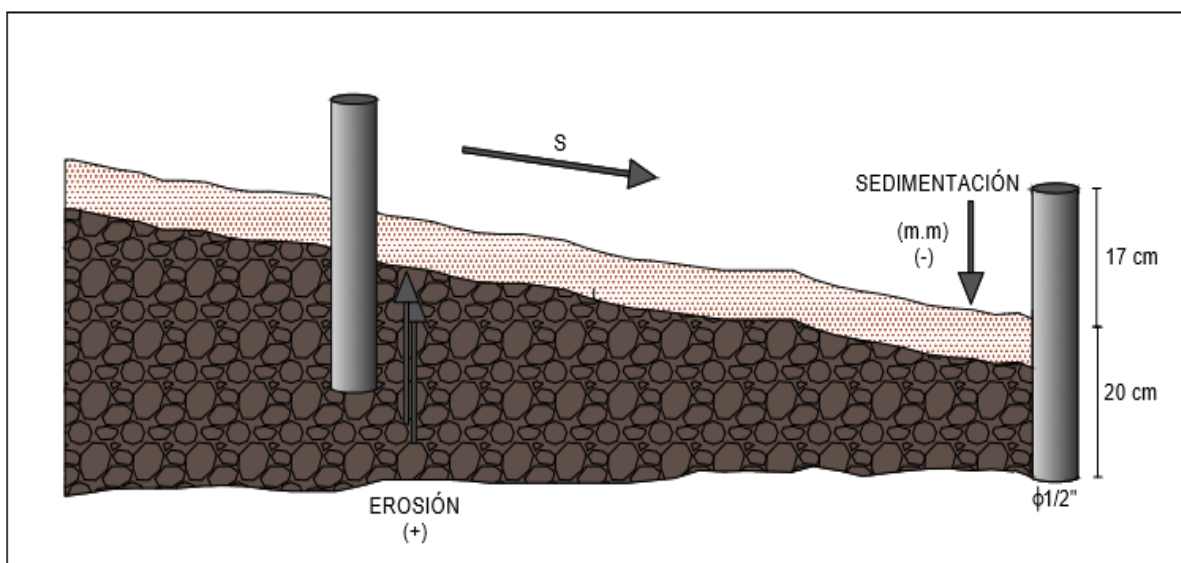


Figura 1: Medición de erosión en varillas

FUENTE: FAO (1983)

Entre los métodos simples ensayados para medir la erosión superficial de los suelos, el que sin duda ha logrado mayor aceptación y aplicación práctica, es aquel que emplea varillas de erosión observese figura 1. (Haigh, 1997).

2.6 FACTORES QUE INTERVIENEN EN EL PROCESO DE LA EROSIÓN HÍDRICA

2.6.1 FACTOR PRECIPITACIÓN

La pricipitación o las lluvias contribuyen a la erosión, del momento en que los suelos ya no son capaces de retener y acumular aguas de lluvias, por lo tanto estas comienzan a correr sobre la superficie del terreno.

Suarez de Castro y Rodriguez (1962), encontraron que 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, por lo que concluyó que a mayor intensidad y duración mayor será la cantidad de suelo que se pierde por efecto del agua de escorrentía.

Meyer (1979), manifiesta que la velocidad de caída de las gotas de lluvia varía desde cero para las lloviznas a más de 9 m/s para las de mayor tamaño, Asimismo, indica que el tamaño más frecuente de las gotas es de 2 mm y que caen con una velocidad que varía de 6 a 7 m/s.

Cuando una gota de lluvia impacta en el suelo, las partículas de este se esparcen; mientras mayor sea la velocidad de impacto, mayor será la cantidad de suelo esparcido. (Kirkby y Morgan, 1984).

Rocha (1982), indica que las lluvias erosivas están acompañadas por vientos significativos, concluyendo que la velocidad de impacto real de las gotas de lluvia está en función del tamaño de la gota y de la velocidad del viento.

Hudson (1982), menciona que debido a la acción del viento, las gotas de lluvia de 3 mm de diámetro cambian de dirección en 30°, incrementando en 17 por ciento la velocidad de caída y en 36 por ciento, la energía cinética.

2.6.2 FACTOR ACTIVIDAD HUMANA

Ferreté (1972), indica que la erosión acelerada deriva de las actividades del hombre al usar la tierra para cultivo y el pastoreo o para obtener madera, construir caminos y edificios, etc. El proceso de degradación de los suelos se agudiza debido a la presión que ejerce la población, la cual con un alto índice de crecimiento está reclamando mayores áreas para las actividades agropecuarias no sostenibles. La construcción de obras hidráulicas, tales como presas o micropresas, y el desarrollo de la minería sin incorporar la variable ambiental, tensionan más los suelos frágiles y aceleran sus procesos erosivos (Procuenca, 2004).

Es necesario enfatizar que algunas herramientas y equipos, cuando se usan indiscriminadamente, sin tener en cuenta el tipo de suelo y la pendiente de los terrenos y sin aplicar prácticas de conservación de suelos para mitigar sus impactos, son a corto, mediano y largo plazo, uno de los principales motivos del deterioro del suelo (IGAC, 1978).

Ellenberg (1983), indica que el hombre aumenta directa o indirectamente la erosión del suelo debido a: 1) Deforestación. 2) Daño de la superficie del suelo, por pastoreo inadecuado, labrado del suelo con arado o rejas, desmonte de plantas leñosas con sus raíces. 3) Compactación del suelo, por el pisoteo del ganado o por una disminución de la actividad biológica al usarse solo fertilizantes químicos.

Barriga (1994), menciona que en las zonas altoandinas, el efecto más notable del sobrepastoreo es la alteración desfavorable de los pastos naturales, recurso que se ve fuertemente reducido, tanto en su tasa de crecimiento como en su calidad y densidad; debido a que existe un notable cambio en las proporciones relativas de las diferentes especies que se presentan en las praderas, con la invasión progresivas de especies indeseables, en esos extremos las gramíneas más nutritivas y apetecible son reemplazadas completamente por especies no palatables, como la tola (*Lepidophyllum quadrangulare*), garbancillo (*Astragalus garbancillo*), arbustos espinosos, tales como la chaca (*Chuquiraga huamanpinta*) y cactáceas diversas. Debido a estas condiciones, su capacidad de carga por unidad de área es de solo 0,2 a 0,3 animales/ha/año.

Felipe-Morales (1986), indica que en algunos casos la ejecución de obras de ingeniería tales como: carreteras, puentes, canales de riego, presas, etc, sin la debida planificación y criterio técnico, contribuye más a incrementar los problemas de sedimentación y erosión, que a solucionar problemas específicos.

Hurni (1988), menciona que en el caso de 80 000 ha, cercadas en 1986 en las montañas de Etiopia, excluyéndolas de cualquier interferencia humana o de ganado, la vegetación recolonizó las pendientes altamente degradadas y a los tres - cinco años se le permitió a los campesinos reutilizar dichas áreas con prácticas de pastoreo controlado.

Dourojeanni (1982), sostiene que si un bosque natural se altera, bien sea por el excesivo pastoreo o por las operaciones propias de la exposición forestal, la protección natural contra la erosión puede destruirse. La tala considerable de árboles reducen la transpiración, dejando al suelo completamente húmedo e impermeable, el agua que era retenida por la vegetación aumenta el volumen de escorrentía, que favorece el arrastre de partículas de espacios desnudos.

Los terrenos que pierden su cobertura y que padecen procesos de erosión, también pierden paulatinamente su capacidad para almacenar el agua de lluvia y para alimentar y regular la escorrentia y afloramiento de agua para el consumo humano y animal, riego y otros usos; y, en la época de lluvias, las corrientes de agua aumentan súbitamente, causando catástrofes (derrumbes, inundaciones, entre otras), que cobran vidas humanas y afectan la economía de los pueblos y las naciones (CIAT, 1999).

2.6.3 FACTOR TOPOGRAFIA

Este factor también tiene influencia importante en la erosión de los suelos. Entre las variables de mayor trascendencia se tiene: grado de inclinación, longitud y forma de los terrenos y la microtopografía o rugosidad del terreno.

La inclinación de la pendiente es el factor topográfico más importante porque produce mayores efectos erosivos. Cuando la inclinación de la pendiente aumenta al doble, la erosión aumenta en una proporción aún mayor. Kirkby y Morgan (1984), indican que cuando la pendiente es muy empinada, aumenta el coeficiente de escurrimiento, la energía cinética, la capacidad de acarreamiento del flujo superficial y la erosión por salpicadura.

Gómez y Alacón (1975), sostienen que el grado de inclinación y la longitud de los terrenos determinan la velocidad y la fuerza con la cual el agua y las partículas del suelo erosionadas se desplazan sobre la superficie de terreno. A mayor grado de inclinación y longitud, la velocidad y fuerza también son mayores, e igualmente la cantidad de suelo que se pierde es mayor.

Gutiérrez (1990), destaca como conclusión de trabajos efectuados en 21 localidades, que el efecto de la longitud de la pendiente por unidad de área fue muy variable. En 18 localidades de Costa Rica, encontró que la escorrentía total durante la época de máximo crecimiento de los cultivos por unidad de área, fue más grande en pendientes cortas. Para la época en que los cultivos ya han adquirido el máximo desarrollo, encontró en 11 localidades que la escorrentía total era mayor sobre pendientes más largas, mientras que en las otras 10 localidades, era igual o más grande, sobre pendiente cortas.

Lal (1988), sostiene que en zonas altas las características topográficas son variadas, donde los residuos de cultivos pueden prevenir la erosión y sustentar la producción en suelos de difícil manejo; además, la magnitud de estos efectos depende de la calidad de los residuos (cobertura). Lo mismo indica en sitios cóncavos, que presentan suelos generalmente más profundos, la humedad se conserva mejor, hay mayor acumulación de materia orgánica, menor riesgo de procesos erosivos y mejor protección ambiental.

2.7 TIPOS DE EROSION HÍDRICA

2.7.1 EROSIÓN LAMINAR

Es la eliminación de las capas superficiales de suelo que cubren el terreno, en forma laminar; la pérdida al principio casi imperceptible, solo será visible cuando, pasado un tiempo, aumenta su intensidad. En el Perú, el proceso de erosión laminar ocurre en forma natural o antrópica, en la mayoría de las tierras (49 193,86 ha) en forma poco visible, pero es el más peligroso porque ocurre cuando caen las lluvias en las laderas y arrastra las partículas del suelo en forma homogénea y lentamente sin producir cortes, lo cual trae como consecuencia la pérdida de fertilidad del suelo (Guerrero, 2003).

López (1996), encontró que existe erosión laminar en los andenes, y que las mayores pérdidas ocurren al inicio de la temporada de lluvias. Indica, asimismo, que la cantidad de sedimentos arrastrados por la lluvia en tierras cultivadas es, significativamente, mayor al de las parcelas abandonadas. Las diferencias entre los niveles de erosión en los andenes bajo descanso temporal o en abandono se explican principalmente por tipo y densidad de la cobertura vegetal, la morfología del terreno y las características físicas del suelo.

2.7.2 EROSIÓN POR SURCOS

Este tipo de erosión, es por aumento del escurrimiento superficial y concentración en los desniveles del terreno, que son perceptibles debido a la formación de surcos irregulares favoreciendo la remoción de la parte superficial del suelo. Debe ser controlada, caso contrario, el proceso avanza y llega a la etapa de cárcava. La consecuencia es el agrietamiento y la fracturación del terreno. La erosión en surcos es una forma aguda de la erosión laminar, sin embargo, las operaciones de labranza fácilmente pueden hacer desaparecer estos surcos (FAO, 1967).

2.7.3 EROSIÓN POR CARCAVAS

Este tipo de erosión se da, especialmente, en corrientes de agua intermitentes y que en procesos erosivos, con algún tiempo de ocurrencia, se forman canales, por profundización del lecho de los surcos, los cuales al converger, conducen mayores caudales y causan erosión profunda y lateralmente. Asimismo, puede tener efectos sobre el caudal, las condiciones de flujo, las aguas subterráneas, la vegetación, los cultivos y la infraestructura. El crecimiento de la cárcavas en longitud se produce en sus cabeceras y en ausencia de vegetación. La

erosión por cárcavas se produce, frecuentemente, luego de la erosión laminar y de la erosión en surcos (FAO, 1967), formando grietas de más de 50 cm de profundidad, que ya no son posibles de remediar con las prácticas rutinarias de arado.

2.7.4 EROSION FLUVIAL

Según PHI (2010), Es la erosión que se presenta en los cursos de agua (quebradas y ríos). La fuerza tractiva del agua vence la resistencia de los materiales, produciendo procesos de socavación lateral y de fondo. Los procesos movilizan además arcillas y limos, otros materiales como arena, gravas, cantos y bloques, son formas de carreaos e disolución y suspensión. Los volúmenes movilizados por erosión fluvial son altos en los cauces, por el transporte violento de materiales. El incremento de traslado es originado por intensas precipitaciones de lluvias, una rápida fusión de nieve, por las estaciones del año.

2.8 TRANSPORTE

El traslado o arrastre se refiere al movimiento de cantos rodados y partículas de suelo por el principal agente de transporte que es la escorrentía superficial.

La intensidad y duración de las lluvias son datos de importancia, ya que las lluvias con altas intensidades en cortos periodos, presentan una mayor actividad erosiva en los suelos e incrementan los volúmenes de escurrimiento superficiales (ENA, 1974).

En general, la degradación del suelo aumenta con el tamaño de las partículas del suelo, mientras que la tasa de transporte aumenta, al bajar dicho tamaño. Las partículas de arcilla se desprenden con mayor dificultad que los granos de arena pero son más fáciles de ser transportados (FAO, 1976).

La OEA (1973), indica que una vez que los sedimentos salen de la zonas erosionadas causan daños aguas abajo. Estas zonas de acumulación de sedimentos causan varios problemas como desborde de los ríos, disminución de las posibilidades de navegabilidad, pérdidas de vida útil de las represas y problemas en las plantas hidroeléctricas.

2.9 MOVIMIENTOS EN MASA

Son aquellos que desplazan grandes volúmenes de material a lo largo de las pendientes. Se agrupan en tres modalidades.

2.9.1 DESLIZAMIENTOS

Consisten en descensos masivos y relativamente rápidos, a veces de carácter catastrófico, de materiales, a lo largo de una pendiente. El material se mueve como una masa única a lo largo de una superficie de deslizamiento creada por la absorción de agua a una profundidad determinada, lo que implica un cambio de peso de la capa externa y un cambio de viscosidad de la subyacente que es generalmente una arcilla lo que provoca la existencia de un plano de deslizamiento de mínima fricción que genera velocidades muy altas. Afectando y movilizándolo a los suelos pocos compactos. Los deslizamientos son estimulados por la socavación provocada por la construcción de caminos, vías férreas, en laderas. Pueden ser muy pequeños o muy grandes.

En el Perú, en la comunidad de Mayunmarca en Huancavelica, se registró en abril de 1977 el deslizamiento más grande del que se tenga conocimiento, que bloqueó el río Mantaro por más de 45 días, creó un dique de un volumen estimado de 109 m^3 y produjo 451 muertos (Kojan y Hutchinson, 1978).

2.9.2 DERRUMBES

Los derrumbes se definen como aquellos movimientos en masa, de flujos, en terrenos de ladera o taludes que sufren una erosión lateral por acción de corrientes de agua que los impactan directamente con gran energía cinética, erosionando sus partes bajas y haciendo perder sustento y apoyo a las partes superiores del talud. Esto es típico en ríos meándricos que genera flujos, soliflucción (alta sinuosidad).

2.9.3 FLUJOS

La soliflucción o flujo consiste en un desplazamiento que afecta a una masa de fango y escombros ubicada sobre basamento poco estable y de cohesión firme en condiciones secas o de humedad baja o media, la cual se pierde con la saturación de suelo. Afecta, mayormente, a los materiales predominantemente arcillosos susceptibles de transformarse en fangos por el aumento de su contenido de agua, lo que provoca un cambio de densidad, del peso y del volumen, que favorece el desplazamiento a lo largo de la pendiente.

III. MATERIALES Y MÉTODOS

3.1 ZONA DE ESTUDIO

El presente trabajo se desarrolló en la comunidad de San Mateo, distrito de San Mateo de la provincia de Huarochirí, departamento de Lima, de setiembre del 2015 a agosto del 2016.

3.1.1 UBICACIÓN GEOGRÁFICA

La zona de estudio (parcelas de investigación) se encuentra a una altitud de 3320 m.s.n.m., entre las coordenadas UTM, que se indican en la Tabla 2. En la Figura 2, puede apreciarse la ubicación de la ladera de estudio.

Tabla 2: Ubicación geográfica de las parcelas

Vértices	Lado	Distancia	Ang. interno	Este(X) m	Norte(Y) m
1	1-2	11,4	90°0'0"	358 153,502	8 699 926,305
2	2-3	11,4	90°0'0"	358 149,050	8 699 936,800
3	3-4	11,4	90°0'0"	358 159,545	8 699 941,252
4	4-1	11,4	90°0'0"	358 163,997	8 699 930,757



Figura 2. Ubicación de la zona de estudio

FUENTE: Google maps.

3.1.2 FISIOGRAFÍA

La cuenca del Rio Rimac, donde se encuentra la zona de estudio, se ubica en el flanco occidental de la cordillera de los andes. Muestra un relieve caracterizado por fuertes contrastes topográficos, causado por los procesos geomórficos. Las laderas son empinadas y abruptas, que son zonas sensibles a los fenómenos de geodinámica externa como: deslizamientos, derrumbes, erosión en cárcavas, que actúan como agentes modeladores naturales (INGEMMET, 1988).

El área de estudio se encuentra en un relieve accidentado, donde la pendiente varía entre 25 y 40 por ciento. Las parcelas fueron instaladas en una zona de pendiente uniforme (aproximadamente, 35 por ciento), ubicada en la margen izquierda del rio Rímac denominado La Cruz, en la misma comunidad de San Mateo.

3.1.3 ECOLOGÍA

La región central occidental del Perú presenta en los pisos ecológicos de la región quechua y suni, teniendo las formaciones ecológicas de: bosque Seco-Montano Bajo Tropical (bs-MBT); Bosque Húmedo-Montano Tropical (bh-MT); Páramo muy Húmedo- Subalpino Tropical (pmh- SaT); Tundra Pluvial-Alpino Tropical (tp-AT).

El Bosque Húmedo-Montano Tropical (bh-MT), es el más predominante, se caracteriza porque hay especies nativas como los quinuales, chegchas, quishuar, qolle, tarwi y son los lugares donde predominantemente se cultivan papas, habas, trigo, olluco, oca, cebada. Su precipitación oscila entre los 500 y los 1000 mm y su biotemperatura está entre los 4 a 12°C (ANA, 2010).

3.1.4 CLIMA

El clima que presenta esta zona está definido como muy húmedo y frígido, las condiciones climáticas de la puna son muy cambiantes y extremas al mismo tiempo. Presentando las siguientes características:

a. Precipitación

La precipitación se extiende durante todo el año y se puede observar tres periodos, el de mayor intensidad comienza en diciembre y se prolonga hasta marzo y corresponde al 72.52 por ciento, de la precipitación anual. El periodo seco comprendido entre los meses

de mayo a setiembre, solo tiene el 7.15 por ciento del total anual. Entre ellos existe meses de transición que son: abril, octubre y noviembre con un 20.33 por ciento (ANA, 2010).

La precipitación total fue de 570,1 mm durante el periodo de estudio (setiembre 2015 a agosto 2016); la mayor precipitación mensual ocurrió en febrero y marzo (157,8 y 119.6 mm, respectivamente). La distribución mensual es muy irregular, tal como se muestra en la Tabla 3. En la zona de San Mateo, la precipitación máxima ocurre entre diciembre y marzo (época húmeda) y la mínima, de mayo a setiembre (época seca).

Tabla 3: Variación mensual de la precipitación en San Mateo (2015-2016)

Mes del año	PP. máxima (mm)	PP. mínima (mm)	PP. mensual (mm)
setiembre 2015	7,3	0	22,4
octubre 2015	9,5	0	34,7
noviembre 2015	11,6	0	40,5
diciembre 2015	13,4	0	97,9
enero 2016	5,4	0	37,1
febrero 2016	16,8	0	157,8
marzo 2016	15,8	0	119,6
abril 2016	8,2	0	53,0
mayo 2016	2,3	0	2,1
junio 2016	3,9	0	4,5
julio 2016	0,0	0	0,0
agosto 2016	0,0	0	0,5

FUENTE: SENAMHI. Estación meteorológica San Jose de Parac

b. Temperatura

La temperatura promedio es de 14.8 °C. La temperatura máxima fue 19.4 °C (enero); la mínima, 10.3 °C (julio); en años anteriores descendió hasta -5 °C. (ANA, 2010).

c. Humedad relativa

La humedad relativa media anual es de 80 por ciento, en la estación San Jose de Parac. (ANA, 2010).

d. Viento

Los datos para la zona de estudio son escasos, pero en localidad cercana de Matucana a 2479 m.s.n.m. los valores mensuales de velocidad de viento varían entre 2.4 – 3 m/s, con un promedio anual de 2.7 m/s (ANA, 2010).

3.1.5 SUELOS

Los suelos del área de estudio son jóvenes y poco profundos, de origen coluvial. Texturalmente, varían entre Arena Franca (A. Fr) y Franco Arenoso (Fr. A) presentando modificadores texturales como gravilla, grava y piedras.

El Ph del suelo en los primeros 20 cm varían 5.6 a 6.5 (moderadamente ácido) son suelos pobres con escasa cantidad de materia orgánica variando entre 2 a 3,5 por ciento (de baja a medio); la menor profundidad se encuentra en la parte superior de la ladera y en la parte baja hay mayor profundidad donde las raíces son más estables. Su color varía de negro a negro claro. El color más oscuro se encuentra en la parte superficial, por el mayor contenido de materia orgánica; el más claro está en el horizonte C.

3.1.6 EROSIÓN

Las 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.

Las laderas en declive, están rodeadas por montañas que corresponden al sistema de la Cordillera del Flanco Occidental, donde existen pendientes acentuadas y presencia de precipitaciones intensas. 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.

La mayoría de los agricultores de la zona no realizan labores de conservación de suelos, notándose la falta de aplicación de las prácticas más elementales de cuidado, al no existir ningún sistema de control la erosión hídrica se acelera.

3.1.7 USO ACTUAL DE LOS SUELOS

La comunidad de San Mateo, se caracteriza por su producción agrícola y en menor escala pecuaria; por tanto el uso del suelo está estrechamente vinculado con estas actividades, las que, además, espacialmente se estructuran de acuerdo a las características medio ambientales, tales como el clima, la fisiografía, geomorfología, disponibilidad del recurso hídrico y suelos.

En los suelos ubicados en las laderas de la parte media de las mismas alternan los usos agrícola y pecuario. Entre los cultivos se encuentran el trigo, la cebada, las habas y empiezan a manifestar su presencia los cultivos de pan llevar como es el caso de la papa, el maíz, etc. En las áreas provistas de pastos naturales, se realiza el pastoreo temporal de especies como el ganado caprino y ovino, y en menor intensidad el ganado vacuno.

3.2 MATERIALES

El éxito del trabajo realizado reside en la previa coordinación con las autoridades de la comunidad y la Municipalidad del distrito de San Mateo. Para el presente trabajo de investigación se solicitó un préstamo de terreno de 129.96 m² por un año. Donde se instaló el área de estudio y un pequeño almacén para guardar los materiales, herramientas y equipos.

3.2.1. HERRAMIENTAS Y EQUIPOS

- Para limpieza del terreno: rastrillo, azadones, machete
- Para remover el area: lampas y picos
- Wincha
- Cal
- Vernier
- 256 Varillas de fierro de ¼ de diámetro y 30 cm de altura
- Arandela (para medir la altura de pérdida de lámina del suelo)
- Balanza
- Cámara digital
- Cilindro metálico (para el muestreo de suelo)
- Regla.
- Equipos: GPS y eclímetro.

3.3 METODOLOGÍA

El tipo de investigación que se desarrolló es experimental, longitudinal prospectivo con una duración de 12 meses. La hipótesis de investigación a probar fue, si los tipos de cobertura tienen similar o diferente grado erosión.

3.3.1 FASE DE GABINETE INICIAL

En la fase inicial de gabinete, se realizó un análisis previo de la zona de estudio, utilizando mapas catastrales del (SINIA); Sistema Nacional de Información Ambiental, (SENAMHI); como los promedios de las precipitaciones anuales e intensidad de las mismas, además, determinación de los periodos de temperatura y humedad.

3.3.2 FASE DE CAMPO

a. Actividades previas

Como actividades previas al presente trabajo, se estableció una serie de coordinaciones con las autoridades locales. El apoyo logístico se coordinó con la Oficina Ambiental de la Municipalidad de San Mateo.

Dada la magnitud del trabajo desarrollado se tuvo diversos viajes para realizar capacitaciones con autoridades y comuneros, verificación del área, evaluando si el lugar es o no propenso al ingreso de animales, para tomar precauciones con cercado del lugar, ver lugares para la recolección de mulch, también para la obtención de la cobertura vegetal. Además la limpieza y arreglo del almacén.

b. Selección del área

La selección del área de investigación se realizó tomando en cuenta las características topográficas del suelo, clima y distancia; así como, el apoyo de mano de obra, necesario para la realización del trabajo de campo. Se tuvo en cuenta lo siguiente:

- Presencia de intensas precipitaciones entre 500 a 600 mm año.
- Zona de alta erosión que está en proceso de desertificación.
- Las pendientes se encuentran entre 25 a 60 por ciento.
- Que su fisiografía y tipo de suelo es representativo de los espacios andinos.

- Que no estén sujetos a alteraciones físicas ocasionadas por actividades antrópicas o de animales.

c. Instalación de las parcelas experimentales

En la zona de estudio se estableció una área total de 129,96 m², con 16 parcelas de 4,0 m², con tres calles de entrada de 0,8 m de ancho, que facilitó la ubicación de las varillas en 4 bloques, tal como puede observarse en la Figura 3.

En la Figura 4, se representa una parcela de la unidad experimental, con un área de 4,0 m², con la ubicación de las 16 varillas por tratamiento, distanciadas cada 0,4 m. Las varillas de fierro corrugado utilizadas tenían las siguientes características: diámetro, ¼"; largo, 0,30 m, con 0,15 m enterrado, con una ranura pintado de blanco para establecer el estado actual del suelo. En cada parcela se instalaron 16 varillas, con un distanciamiento de 0,40 m por 0,40 m. Para la lectura se utilizó una regla metálica y la arandela, según se muestra en la Figura 5.

La magnitud promedio de la inclinación de los suelos en las parcelas fue determinada en el campo y expresada en porcentaje. La pendiente media de la zona de investigación es de 35 por ciento. Con los datos de campo se pudo establecer la presencia de tres zonas: (a) de pendiente moderada suave (S), menor al 25 por ciento; (b) de pendiente moderada (M), 26 y 56 por ciento; y, (c) de pendiente pronunciada (P), mayor al 57 por ciento.

d. Descripción de los tratamientos

Se aplicaron cuatro tratamientos, con cuatro repeticiones. La pendiente es similar en todos los tratamientos y repeticiones, para evaluar el proceso de erosión hídrica de los suelos de la zona, los tratamientos fueron:

- **Tratamiento I:** suelos con cobertura vegetal de *Festuca amethystina* L., sembrada a un distanciamiento de 10 cm entre plantas, utilizada por ser oriunda de la zona, por tener raíz fasciculada que protege al suelo de la erosión hídrica, por estar en extinción dentro de la zona a causa del sobrepastoreo y siendo, además, el principal alimento del ganado de la zona.

- **Tratamiento II:** suelo desnudo, sin ningún tipo de cobertura. En esta condición se mantuvo hasta el final, realizando las evaluaciones correspondientes.
- **Tratamiento III:** suelos con cobertura de mulch (rastrojo y vegetación de la misma zona), de 2 cm de espesor.
- **Tratamiento IV:** suelos con cobertura natural, es decir, con libre desarrollo de algunas especies vegetales nativas como arundinacea, hormaza, cañuela roja y tola.

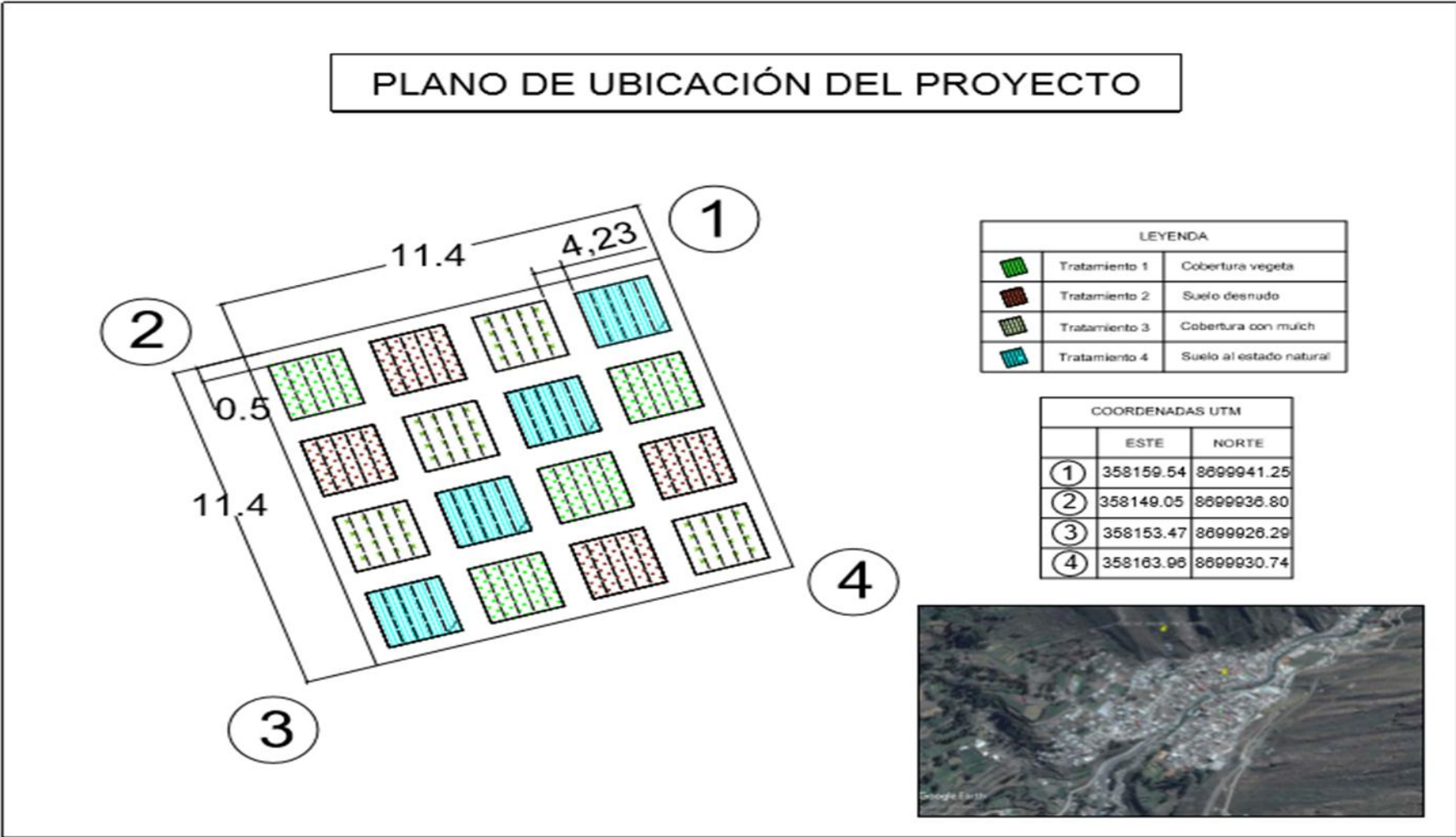


Figura 3: Plano de ubicación y distribución de los tratamientos

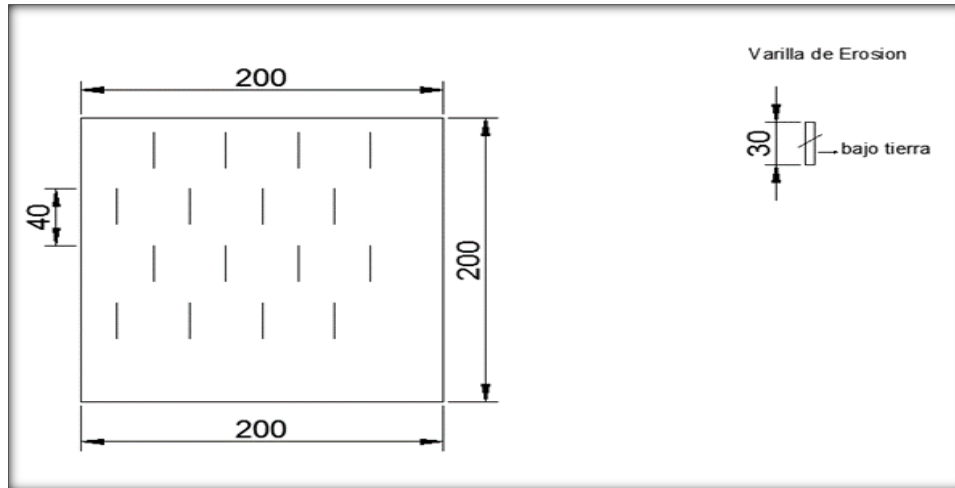


Figura 4: Diseño de una parcela con sus respectivas varillas

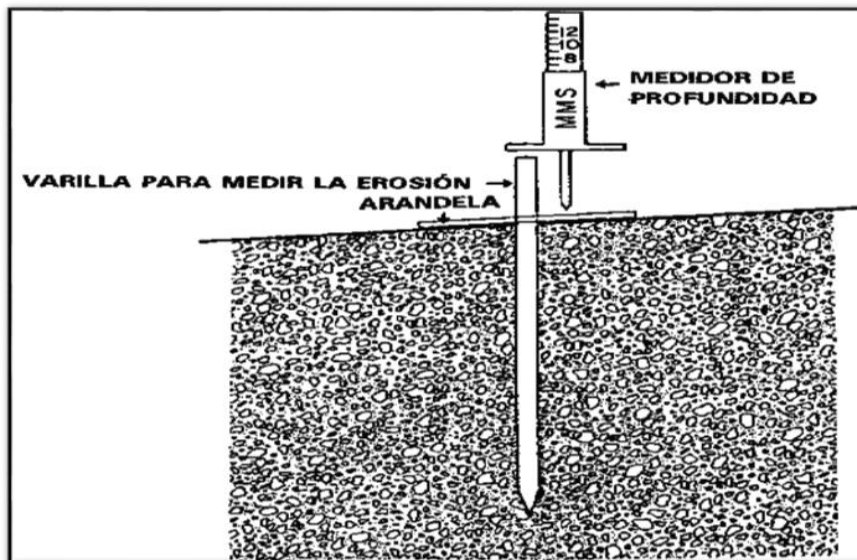


Figura 5: Arandela para medir la pérdida de suelo

FUENTE: FAO (1997)

e. Textura y densidad del suelo

La textura fue determinada *in situ* al tacto; y, en laboratorio, mediante el método de sedimentación, midiendo los porcentajes de arena, limo y arcilla; para la correspondiente lectura en el triángulo textural.

Para estimar la densidad del suelo, se realizó el muestreo de campo, por el método del cilindro (USDA). Las muestras de suelos fueron llevadas al laboratorio de Analisis de

suelos, aguas y fertilizantes de la Facultad de Agronomía de la Universidad Nacional Agraria La Molina. Los resultados obtenidos se presentan en el Anexo I.

f. Medición de la erosión

Se efectuó lecturas dos veces al mes (días 10 y 25), utilizando una regla graduada en una arandela para medir las varillas. Se efectuó una lectura inicial, antes del inicio de las lluvias; y, posteriormente, en las fechas programadas.

Se tomó lecturas en las 16 varillas por tratamiento, para promediar la altura expresada en lámina (mm), a partir de la cual se obtuvo el volumen, considerando el área de cada parcela. Luego, para determinar la pérdida de suelo, se multiplicó por la densidad. Finalmente, se realizó el análisis estadístico para determinar el grado de erosión y la cantidad de suelo perdido.

3.3.3 FASE DE LABORATORIO

Las muestras de suelo, tomadas en campo, se llevaron al Laboratorio de análisis de Suelos, plantas, aguas y fertilizantes de la Universidad Nacional Agraria La Molina (UNALM) para determinar la densidad aparente del suelo, parámetro a utilizar en el cálculo del suelo erosionado.

3.3.4 FASE DE GABINETE FINAL

Se estimó la erosión hídrica, utilizando la fórmula:

$$E = \frac{\sum_{i=1}^{16} X_i}{N}$$

Donde:

E = Altura medida del suelo erosionado o suelo erosionado (mm).

$\sum_{i=1}^{16} X_i$ = Sumatoria de las mediciones de la erosión de cada parcela (mm).

N: Cantidad de varillas de cada parcela de medición (16).

La erosión neta se estimó utilizando la fórmula:

$$E_{neta} = \bar{E} = S - E$$

Donde:

E_{neta} : Erosión neta (mm) o erosión promedio (\bar{E}).

S : Suelo erosionado (mm).

E : Erosión del suelo (mm).

La erosión del suelo (ton/ha) se estimó utilizando la fórmula:

$$E_{rs} = \bar{E} * d_{ap} * 10$$

Donde:

E_{rs} : Suelo erosionado en masa (ton/ha)

E_{neta} : Erosión neta (mm) o erosión promedio (\bar{E}).

D_{ap} : Densidad aparente (g/cm^3)

3.4 FACTORES DE ESTUDIO

En la Tabla 4, se presenta las variables definidas en la presente investigación.

Tabla 4: Variables de estudio

VARIABLES	Tipo de variable	Indicadores
Independientes:		
<i>Tipo de cobertura del suelo</i>		
X1: Suelo con cobertura vegetal	Categorica	4,00 m ² /parcela
X2: Suelo desnudo		
X3: Suelo con mulching		
X4: Suelo con cobertura natural		
Dependiente:		
<i>Características físicas del suelo</i>		
Y1: Suelo erosionado	Cuantitativa	g

3.5 DISEÑO EXPERIMENTAL

Se utilizó un Diseño de Bloques Completamente al Azar (DBCA), con cuatro tratamientos, en cuatro bloques. El modelo estadístico fue el siguiente:

$$y_{ij} = \mu + \tau_i + \beta_j + \varepsilon_{ij}$$

Donde:

y_{ij} : medición de la variable respuesta de la j -ésima unidad experimental en el i -ésimo tratamiento.

μ : promedio general de la variable respuesta.

τ_i : efecto del i -ésimo tratamiento (cobertura)

β_j : efecto del j -ésimo bloque (pendiente)

ε_{ij} : efecto del error experimental en la j -ésima unidad experimental con el i -ésimo tratamiento.

3.6 PROCESAMIENTO DE LA INFORMACIÓN

Para el análisis de los datos se utilizó el programa Minitab V17, con el módulo ANOVA para DBCA y para la comparación de medias de los tratamientos se utilizó la prueba de Tukey, luego del análisis de varianza con una significancia de cinco por ciento, lo que permitió diferenciar mejor la significancia entre las variables.

IV. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1 CARACTERIZACIÓN DE SUELO

Los resultados de la densidad aparente, para los diferentes tratamiento, fueron: 1,39 g/cm³, para suelo con cobertura vegetal; 1,33 g/cm³, para suelo desnudo; 1,36 g/cm³, para suelos con cobertura mulch; y, 1,41 g/cm³, para suelos con cobertura natural.

Por otro lado, los suelos de la zona de investigación presentan texturas Franco-Arenosa y Franco-Arcilla-Limosa, con modificadores texturales, tales como gravilla, grava y piedras.

4.2 PÉRDIDAS DE SUELO

En la tabla 5, se presenta la lamina erosionada (mm/año) y la densidad aparente de los suelos, para cada tratamiento en estudio. Se puede observar que en las parcelas con suelo desnudo (T₂) se midió una lámina de suelo erosionado de 4,3 veces mayor a la del tratamiento con cobertura vegetal (T₁).

Tabla 5: Lámina erosionada por tratamiento

Tratamientos	Altura (mm/año)	Densidad aparente (g/cm ³)
Cobertura con vegetal (T ₁)	0,784	1,39
Suelo desnudo (T ₂)	3,373	1,33
Cobertura de mulch (T ₃)	1,264	1,36
Cobertura natural (T ₄)	2,032	1,41

Por otro lado, en relación a los valores densidad aparente, tal como lo describe Albán (2009), un valor más alto es indicador de un mayor grado de compactación del suelo, relacionado a la infiltración y a la erosión.

Como se observa en los resultados, la diferencia de densidad aparente para cada caso, es mínima, encontrándose los datos dentro de lo que es adecuado para el desarrollo de las plantas, por ser menor a $1,6 \text{ g/cm}^3$ (Reynolds *et al.* 2002).

Sin embargo, para realizar un análisis más detallado, es conveniente revisar los datos en forma mensual, para tener una opinión precisa acerca del tratamiento que otorga mejor protección al suelo durante todo el año y en los meses de presencia de mayor precipitación. Para ello, con los datos que se presenta en la Tabla 6, se elaboró la gráfica de la Figura 6.

Tabla 6: Datos mensuales de lámina de suelo erosionada (mm).

Meses	Vegetal (T ₁)	Desnudo (T ₂)	Mulch (T ₃)	Natural (T ₄)
Setiembre	0	0,065	0,026	0,045
Octubre	0,108	0,154	0,143	0,201
Noviembre	0,047	0,288	0,135	0,105
Diciembre	0,05	0,288	0,184	0,259
Enero	0,038	0,387	0,119	0,119
Febrero	0,160	0,264	0,175	0,169
Marzo	0,181	0,946	0,227	0,587
Abril	0,153	0,513	0,198	0,441
Mayo	0,047	0,134	0,058	0,082
Junio	0	0,057	0	0,0232
Julio	0	0,012	0	0
Agosto	0	0	0	0

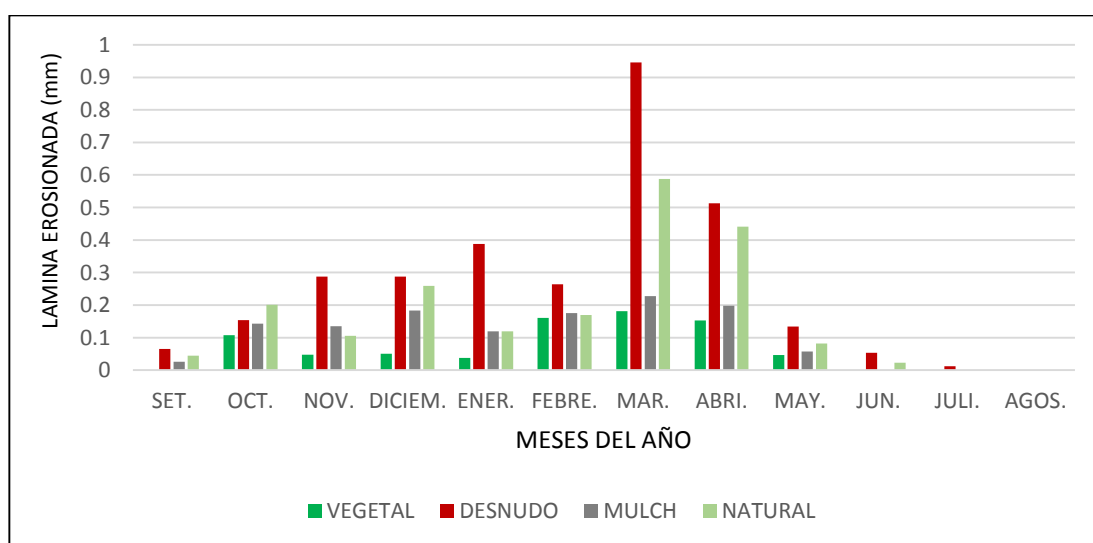


Figura 6: Lámina de suelo pérdida por erosión

Se observa que los valores más altos se dan en marzo y abril, debido a la ocurrencia de mayor precipitación. Las pérdidas más altas se presentaron en los tratamientos T₂ (157,8 mm, febrero) y T₄, (119,6 mm, marzo).

En la tabla 7, se presenta el suelo erosionado con los datos consolidados (t/ha) por tratamiento, con cuyos datos, se elaboró la gráfica de la Figura 7, que muestra de forma más clara la diferencia entre los cuatro tratamientos.

Tabla 7: Datos mensuales de pérdida de suelo (t/ha)

Meses	Vegetal (T ₁)	Desnudo (T ₂)	Mulch (T ₃)	Natural (T ₄)
Setiembre	0	0,862	0,351	0,628
Octubre	1,5	2,05	1,945	2,841
Noviembre	0,654	3,831	1,834	1,482
Diciembre	0,695	7,387	2,498	3,657
Enero	0,525	5,157	1,616	1,677
Febrero	2,227	3,512	2,381	2,39
Marzo	2,878	12,582	3,091	8,279
Abril	1,77	6,827	2,688	6,22
Mayo	0,654	1,787	0,786	1,158
Junio	0	0,707	0	0,32
Julio	0	0,155	0	0
Agosto	0	0	0	0

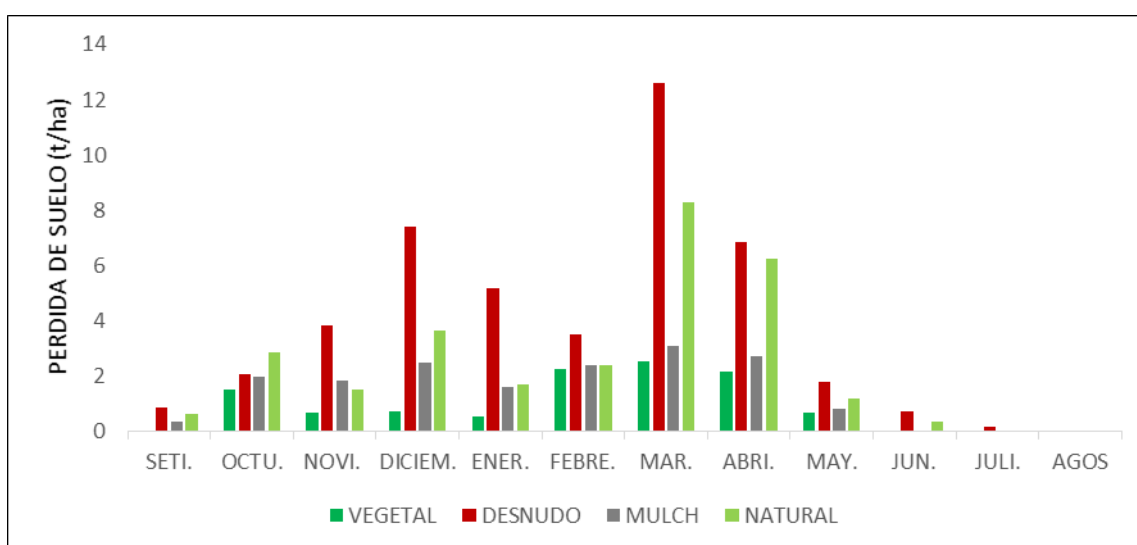


Figura 7: Pérdida de suelo por erosión

El tratamiento T₂ (suelo desnudo), muestra las mayores pérdidas de suelo en todos los meses evaluados. La tendencia en erosión del suelo en el tratamiento T₂, se mantuvo durante todos los meses, con excepción de octubre. El tratamiento T₁, de cobertura vegetal, fue el que mejor controló la erosión del suelo. Esta tendencia es generalizada, según la cobertura en cada parcela y el grado de erodabilidad e erosividad, durante el año. Tal como lo indica Hudson (2004), a mayor erosividad de la lluvia y menor porcentaje de cobertura del suelo, existe una mayor pérdida de suelo. El tratamiento T₂ presenta erosión de suelo durante casi todos los meses del año, a excepción de agosto.

En la Tabla 8, se presenta la información de lámina de erosión (mm/año), por bloques y por cada tratamiento; y, como consolidación de resultados de pérdida de suelo, por tratamiento (t/ha-año). Se observa que la mayor erosión se produjo en el tratamiento T₂ (suelo desnudo), mientras que en el tratamiento T₁ (con cobertura vegetal) se produjo un mejor control de la erosión.

Tabla 8: Suelo erosionado acumulado por parcelas

Tratamientos	Bloques	Parcelas	Lamina de erosión (mm) Año	Promedios	Densidad aparente (ton/ha)	Masa erosionado (ton/ha-año)
SUELOS CON COBERTURA VEGETAL	I	T-1	0.997	0.78425	1.39	10.901075
	II	T-1	0.683			
	III	T-1	0.744			
	IV	T-1	0.713			
SUELO AL DESNUDO	I	T-2	3.238	3.37225	1.33	44.850925
	II	T-2	3.513			
	III	T-2	3.329			
	IV	T-2	3.409			
SUELO CON COBERTURA MULCH	I	T-3	1.309	1.26325	1.36	17.1802
	II	T-3	1.181			
	III	T-3	1.362			
	IV	T-3	1.201			
SUELO NATURAL	I	T-4	2.231	2.032	1.41	28.6512
	II	T-4	1.994			
	III	T-4	2.013			
	IV	T-4	1.89			

En la Tabla 9, se presenta la pérdida de suelo mensual (t/ha-mes); y, la pérdida de suelo anual (t/ha-año). Con estos datos se desarrolló el análisis de varianza (ANOVA) y la prueba de Tukey. En la Figura 8, puede observarse la acumulación de los datos de suelo erosionado, cuyo valor más alto ocurrió en el tratamiento T₂ (suelo desnudo), con 44,85 t/ha-año;

mientras que el más bajo se produjo en el tratamiento T₁ (suelo con cobertura vegetal), equivalente a 10,901 t/ha-año.

Tabla 9: Suelo erosionado acumulado

Tra.	Set.	Oct.	Nov.	Dic.	Ener.	Feb.	Mar.	Abr.	May.	Jun.	Jul.	Ago.	(t/ha-año)
(T1)	0.00	1.50	2.154	2.849	3.374	5.601	8.479	10.249	10.903	10.903	10.903	10.901	10.901
(T2)	0.862	2.912	6.743	6.743	19.288	22.80	35.382	42.209	43.996	44.703	44.858	44.851	44.851
(T3)	0.351	2.296	4.13	6.628	8.244	10.625	13.716	16.404	17.190	17.190	17.19	17.18	17.18
(T4)	0.628	3.469	4.951	8.608	10.285	12.675	16.942	27.178	28.336	28.656	28.656	28.651	28.651

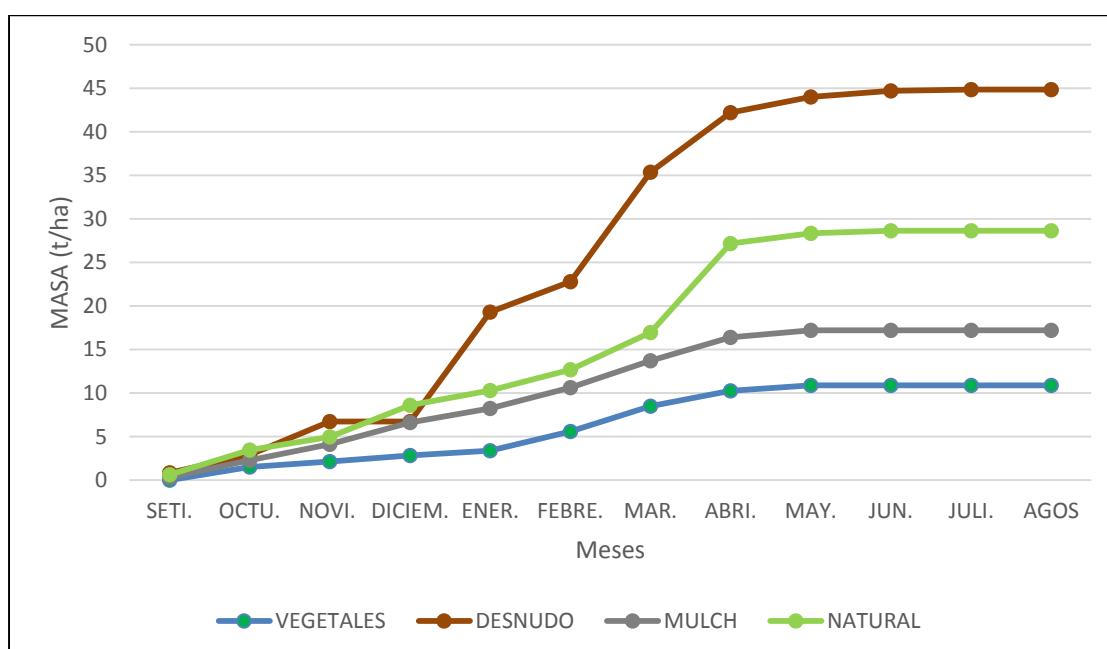


Figura 8. Suelo erosionado acumulado, en forma mensual

En la Figura 9, se presenta la cantidad de suelo erosionado (t/ha-mes), comparada con la precipitación mensual, apreciándose la relación entre ambas variables. Las mayores pérdidas de suelo ocurrieron durante la época húmeda. Asimismo, se observa que al disminuir la precipitación, el suelo erosionado también lo hace. Se observa que en marzo ocurre la mayor erosión de suelo en todos los tratamientos, que no concuerda con el mes de mayor precipitación (febrero). Ello se puede explicar porque las lluvias se presentaron en los últimos 4 días de febrero (acumulando 57,2 mm, de los 157,8 mm totales); y, dado que las mediciones se realizaron los días 10 y 25 de cada mes.

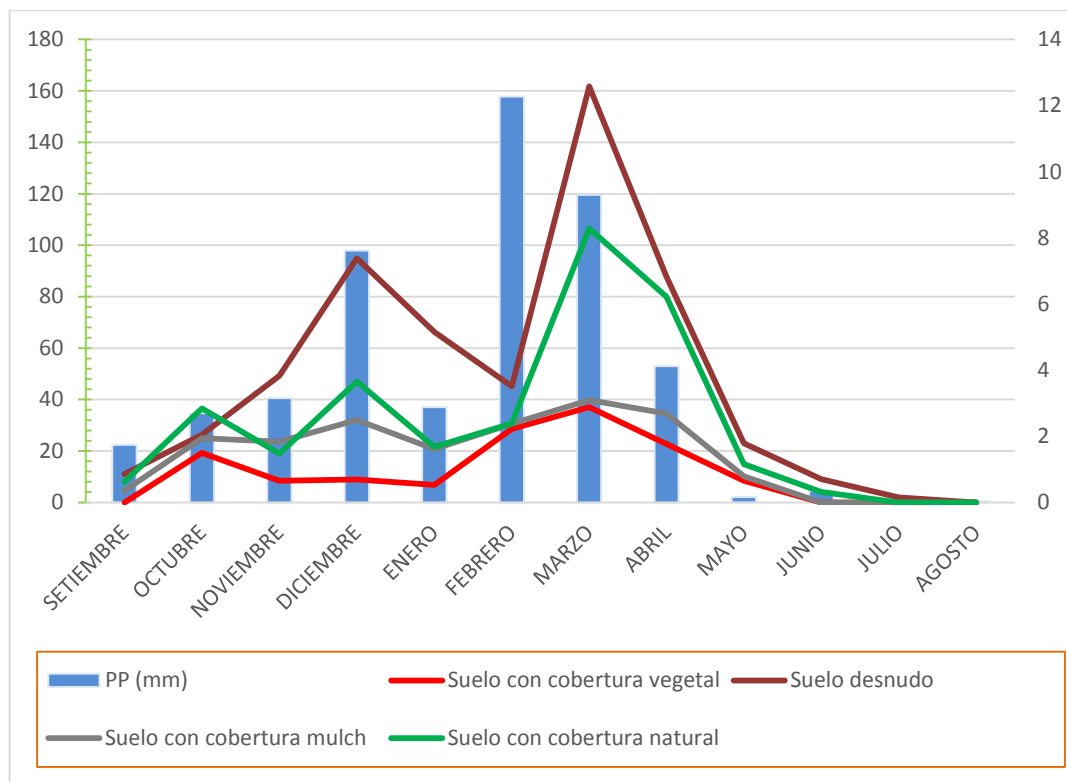


Figura 9: Suelo erosionado y precipitación mensual

FUENTE: Senhami – Oficina de estadística (2017)

En la Figura 10, se muestra la variación anual del suelo erosionado, en cada tratamiento, mediante gráfico de barras verticales; se corrobora, que el tratamiento T₂ presentó la mayor pérdida de suelo, con 44,850 t/ha-año; seguido del T₄ (28,651 t/ha-año); el T₃ (17,180 t/ha-año); y, el de menor valor, el T₁ (10,901 t/ha-año). Se puede observar que la erosión varía según el tipo de cobertura; de suelo desnudo (mayor erosión) hasta suelo con cobertura vegetal (menor erosión); es decir, la erosión disminuye con el incremento de la cobertura vegetal (Avila, 1984).

La mayor erosión en el caso del tratamiento de suelo desnudo, se explica porque las gotas de lluvia caen directamente al suelo ocasionando disgregación y desprendimiento de las partículas, compactación y sellado de los poros del suelo, dando como resultado menor infiltración y mayor escorrentía y con ello un mayor arrastre de las partículas del suelo, por lo que la desaparición de la vegetación incrementa de manera considerable la erosión (Paulet, 1990; Lemus y Navarro, 2003).

Asimismo, existe una diferencia relativamente alta entre una cobertura con mulch con respecto a suelo con cobertura natural. Siendo menor la erosión en la cobertura con mulch, dado que otorga al suelo con protección superior respecto a la cobertura en estado natural.

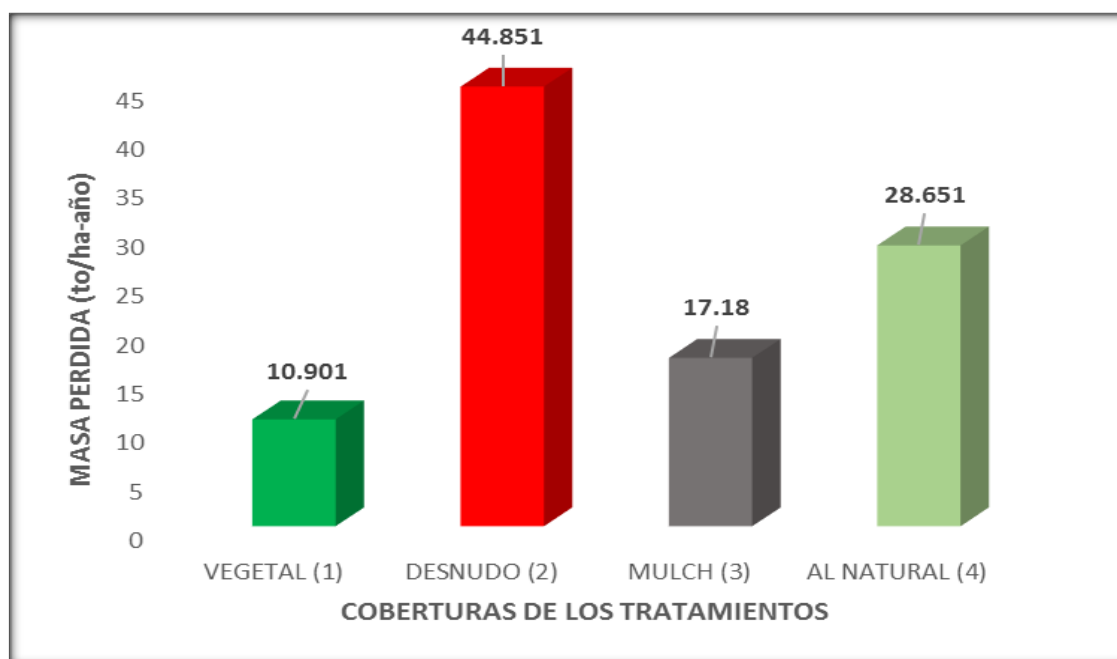


Figura 10. Variación anual de suelo erosionado

Tal como indica Bienes (1996), el mulch sobre el suelo es muy eficaz para evitar una erosión por salpicadura y disminuye fuertemente la erosión laminar; además, a medida que se va descomponiendo, los nutrientes pasan a ser parcialmente incorporados al suelo (Silva, 2002).

Por otro lado, la cobertura natural aunque protege también al suelo, no lo cubre en toda su superficie, es decir dependerá del porcentaje cobertura del suelo (densidad), así como su altura y tipo. Autores como Morgan (1997) y Almorox *et al.* (2010), afirman que para una protección adecuada, al menos el 70 por ciento de la superficie del suelo debe estar cubierta, aunque se puede tener una protección aceptable con el 40 por ciento de suelo cubierto.

4.3 ANÁLISIS DE VARIANZA Y PRUEBA DE TUKEY

En la Tabla 10, se presenta los datos de entrada al software Minitab, para analizar la distribución Normal, que justifica la aplicación del método paramétrico Análisis de Varianza con un factor (ANOVA).

Se realizó un análisis de varianza (ANOVA) para observar las diferencias entre los tipos de cobertura del suelo. De igual forma, se hicieron pruebas de Tukey al 5 por ciento para determinar las diferencias significativas entre los tratamientos con diferente cobertura del suelo.

Tabla 10: Promedio de masa acumulada por mes

Nº	Meses	Suelo con cobertura vegetal	Suelo desnudo	Suelo con cobertura mulch	Suelo con cobertura natural
01	Set -2015	0,000	0,862	0,351	0,628
02	Oct-2015	1,500	2,912	2,296	3,469
03	Nov-2015	2,154	6,743	4,130	4,951
04	Dic-2015	2,849	6,743	6,628	8,608
05	Ene-2016	3,374	19,288	8,244	10,285
06	Feb-2016	5,601	22,800	10,625	12,675
07	Mar-2016	8,479	35,382	13,716	16,942
08	Abr-2016	10,249	42,209	16,404	27,178
09	May-2016	10,903	43,996	17,190	28,336
10	Jun-2016	10,903	44,703	17,190	28,656
11	Jul-2016	10,903	44,858	17,190	28,656
12	Ago-2016	10,903	44,858	17,190	28,656

En la Figura 11, se presenta la gráfica de normalidad, donde se observa que la mayoría de los puntos de cobertura de los suelos se encuentran sobre la línea diagonal recta; por lo que los datos se ajustan bien a la distribución normal, que es uno de los supuestos requeridos para aplicar la prueba de ANOVA.

En la Tabla 11, se muestra el análisis de varianza con un factor (ANOVA) a partir de un arreglo factorial conducido en un diseño de bloques completamente al azar (DBCA), para lo cual se utilizaron los valores de erosión promedio del suelo, donde se sometió a prueba la hipótesis según la cual las medias de las muestras, es decir la erosión del suelo según los tratamientos de coberturas son iguales. El resultado lo dió el estadístico “F”, que viene a ser la variación existente entre los tratamientos.

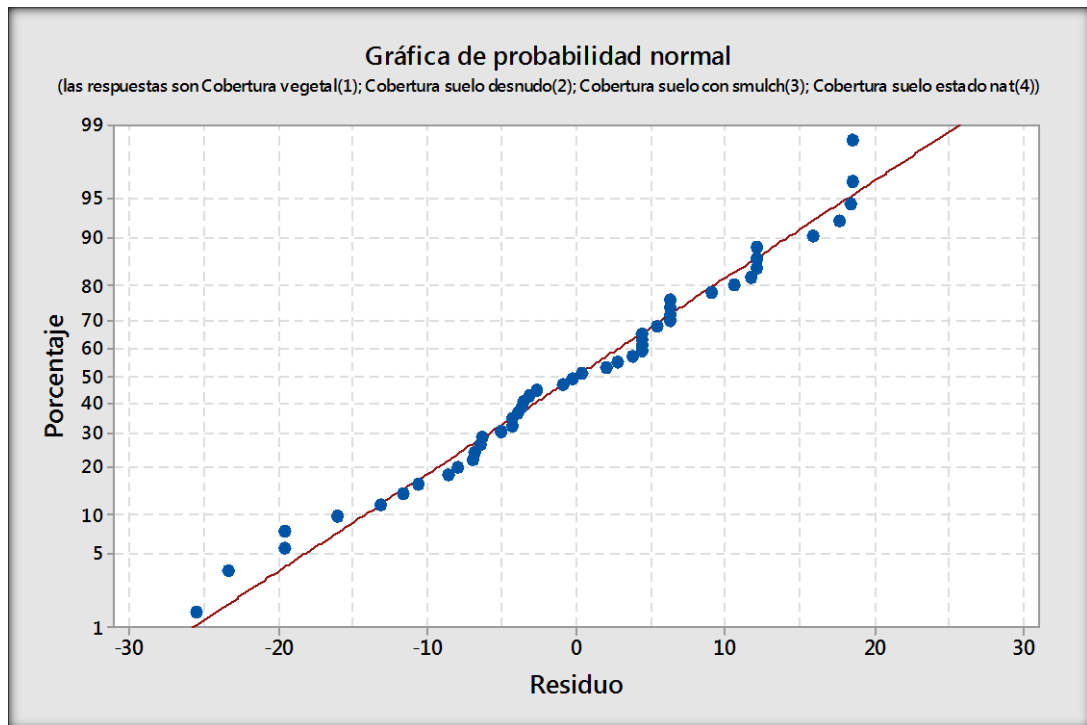


Figura 11: Prueba de normalidad de cobertura de suelo: Software Minitab

Tabla 11: Análisis de varianza

Fuente de variabilidad	Suma de cuadrados	Grado de libertad	Cuadrado medio	F	F _{critical}	P-valor
Entre grupos	2625,59	3	875,1981	6,7284	2,8165	0,0008
Dentro del grupo	5723,33	44	130,0756	-	-	-
Total	8348,92	47	-	-	-	-

Dado que el P-valor = 0,0008 es menor que nivel de significancia $\alpha = 0,05$; entonces, hay evidencia experimental suficiente para rechazar la hipótesis H_0 . Por lo tanto, se acepta que los promedios de erosión de suelo (t/ha-año) en los tratamientos fueron diferentes.

En la Tabla 12, se presenta los intervalos de confianza al 95 por ciento de las medias de los cuatro tratamientos. Con un margen de error de $\pm 6,6353$, se estimó los valores máximos y mínimos de erosión del suelo en cada tratamiento.

En la Tabla 13, se presenta los resultados de la Prueba de Tukey y se muestran las diferencias significativas entre los cuatro tratamientos.

Tabla 12: Intervalo de confianza de los tratamientos

Tratamientos	Intervalo de confianza	1- α
Cobertura vegetal (T ₁)	6,4848 ± 6,6353	95%
Suelo desnudo (T ₂)	26,2794 ± 6,6353	95%
Cobertura con mulch (T ₃)	10,9295 ± 6,6353	95%
Cobertura natural (T ₄)	16,5865 ± 6,6353	95%
Gran media = 15,0701		

Tabla 13: Prueba de Tukey de comparación por tratamientos

Cobertura de suelo con vegetal					
<i>r</i>	4	Suelo desnudo	Sig	Suelo desnudo	
<i>n - r</i>	44	Cobertura de suelo con mulch	No	Sig	Cobertura de suelo con mulch
<i>q₀</i>	4.04	Cobertura de suelo al natural	No	No	No
<i>T</i>	13.3011				

Según la prueba de Tukey, se puede afirmar que existen diferencias significativas entre:

- Suelo desnudo y suelo con cobertura vegetal;
- Suelo con cobertura de mulch y suelo desnudo.

No existen diferencias significativas entre:

- Suelo con cobertura de mulch y suelo con cobertura vegetal;
- Suelo con cobertura natural y suelo con cobertura vegetal;
- Suelo con cobertura natural y suelo desnudo;
- Suelo con cobertura natural y suelo con cobertura mulchs.

Entre el suelo con cobertura de mulch y suelo con cobertura vegetal, según la prueba Tukey, no existe una diferencia significativa, lo cual es evidencia de un efecto similar entre estos

dos tratamientos. Sin embargo, al utilizar la cobertura de mulch, no necesariamente es lo mejor en el transcurso del tiempo, pues dificulta la infiltración.

La diferencia significativa que existe entre el tratamiento de suelo desnudo y con cobertura vegetal, es también corroborada por los estudios de Alvarado *et al.* (2011) y Castillo y Amézquita (2003), quienes encontraron mayores pérdidas en sistemas de cultivo y suelos desnudos; y menores pérdidas de suelo en sistemas con incorporación de pasturas, dado que estas últimas permiten un mejor amarre en el suelo que evita la erosión y retienen el suelo que ya se ha transportado por escorrentía; mientras que los suelos desnudos no presentan ningún tipo de protección al impacto de las gotas de lluvia, lo cual ocasiona un desprendimiento mayor de su capa superficial.

Entre el tratamiento con cobertura natural y cobertura vegetal, se observa una gran diferencia a pesar de que ambos presentan vegetación, lo cual coincide con lo afirmado por Morgan (1986) de que el crecimiento de gramíneas (en este caso *Festuca amethystina* L.) reduce la escorrentía del 50 al 60 por ciento y las pérdidas de suelo por erosión del 60 al 80 por ciento, debido en parte a la mejora de varias propiedades del suelo.

En el caso de la pérdida de suelo por erosión con cobertura vegetal, con respecto al suelo desnudo, disminuyó en un 75,7 por ciento. Mientras que, el tratamiento de cobertura natural redujo la erosión en un 36,1 por ciento, con respecto al suelo desnudo; y, el de cobertura con mulch, redujo en un 61,7 por ciento con respecto al suelo desnudo.

Asimismo, el cultivo con gramíneas (*Festuca amethystina* L.) es recomendado para el control de la erosión, pues sus raíces contribuyen a dar estabilidad estructural, favorecer la infiltración del agua y a mantener la estabilidad de los agregados del suelo; por tanto, es un factor clave en el control de la erosión hídrica de los suelos (Márquez *et al.* 2003; Joseph *et al.* 2003 y Martens, 2002).

Por otro lado, la diferencia que existe entre la erosión del suelo en el tratamiento con cobertura natural con el de cobertura vegetal, depende también de la densidad de superficie cubierta por el cultivo, tal como lo indican Do Prado y Da Veiga (1993), pues existe una relación directamente proporcional entre los valores del volumen de agua escurrida y el volumen de agua de lluvia infiltrada con el coeficiente de escurrimiento, dado que valores

bajos en los coeficientes de escurrimiento señalan un menor riesgo de erosión hídrica del suelo (Cruz *et al.* 2010).

En la Figura 13, el gráfico de radar muestra que el tratamiento T₁, de suelo con cobertura vegetal, se encuentra ubicado al centro del radar, lo que indica que fue el tratamiento que mejor controló la pérdida de suelo.

Se observan anillos concéntricos, indicando que los suelos, indistintamente de la cobertura, sufren erosión en distintas cantidades. Finalmente, el tratamiento con suelo desnudo (T₂) es el que sufre la máxima pérdida por erosión (enero del 2016), cuando la intensidad de precipitación aumenta. Posteriormente, con la disminución de la precipitación se mantiene uniforme hasta agosto del 2016.

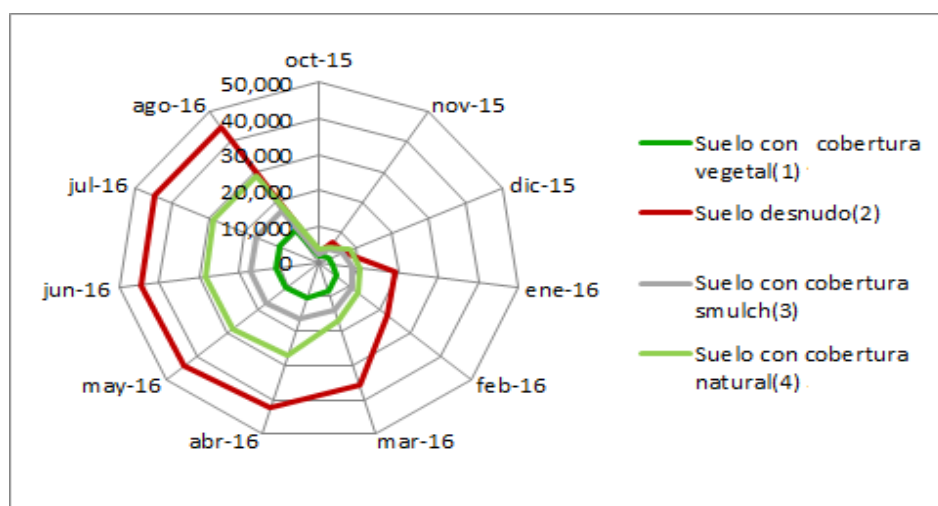


Figura 12: Gráfico radar de diferencia de pérdida de masa por tratamientos

Con respecto a la pérdida de suelo anual por tratamientos y comparándolos con la tasa máxima permisible establecida por la FAO (1980), que oscila entre 2 y 12,5 t/ha-año, según los tipos de suelo, su profundidad y propiedades físicas. Generalmente, se admite que una pérdida de 12,5 t/ha-año, es el máximo aceptable para suelos bastante profundos, permeables y bien drenados, mientras que pérdidas de 2 a 4 t/ha-año, se consideran como admisibles para suelos con un subsuelo desfavorable y que presenten escasa profundidad.

Asimismo, según otros criterios internacionales el nivel de intensidad de pérdida de suelo anual, para el caso de suelo desnudo y cobertura natural clasifica como intensidad alta (>25

t/ha-año); para el tratamiento de suelo cubierto con mulch, es de intensidad media (12-25 t/ha-año); mientras que, para suelo con cobertura vegetal, es de intensidad baja (<12 t/ha-año), según Wischmeier y Smith (1978).

Si bien el tratamiento de suelo con cobertura vegetal es el mejor, en términos de menor erosión del suelo entre los tratamientos evaluados, los demás tratamientos son también efectivos en comparación con el suelo desnudo.

V. CONCLUSIONES

1. Los resultados experimentales encontrados en la presente investigación, sobre la influencia de la cobertura en la pérdida de suelo por erosión hídrica, fueron los siguientes: T₁, suelo con cobertura vegetal (*Festuca amethystina* L.), con 10,9 t/ha-año; T₂, suelo desnudo, con 44,85 t/ha-año; T₃, suelo con cobertura mulch, con 17,18 t/ha-año; y, T₄, suelo con cobertura al estado natural, con 28,651 t/ha-año.
2. El tratamiento T₂, de suelo desnudo, fue el que presentó la mayor pérdida de masa suelo, con un promedio de 44,85 t/ha-año, equivalente a una altura de 3,37 mm/año.
3. El tratamiento T₁, con cobertura vegetal, controló mejor la erosión del suelo con un promedio de 10,9 t/ha-año, que corresponde a una altura de 0,78 mm/año.
4. Los tratamientos con cobertura redujeron las pérdidas de suelo, con respecto al tratamiento testigo (suelo desnudo), pero el más eficiente fue de cobertura vegetal con *Festuca amethystina* L.
5. Las parcelas con suelo desnudo, la erosión fue de 44,85 t/ha-año, una cifra de once veces mayor a la tasa considerada máxima permisible por la FAO (4 t/ha-año), para suelos de escasa profundidad. En las parcela con cobertura vegetal, esta actuo como un eficiente protector del suelo, disminuyendo considerablemente la erosion hídrica.

VI. RECOMENDACIONES

1. Continuar con los estudios, por lo menos tres años más en las parcelas ya establecidas en este trabajo de investigación, comparando con las precipitaciones anuales, teniendo en cuenta la cuenca alta del río Rimac como unidad de estudio y manejo de los recursos naturales.
2. Instalar parcelas de medición en laderas y microcuencas de otras regiones de la sierra a fin de tener una mayor información de la erosión hídrica y hacer trabajos con cobertura de especies nativas, tales como la *Festuca amethystina L.*
3. Promover la propagación de la *Festuca amethystina L.* en las zonas alto andinas como una práctica de conservación de suelos.
4. Desarrollar más trabajos de investigación, con otras especies de cobertura vegetal, como la *Festuca rubra L.*, *Festuca arundinacea L.* para reducir la pérdida de suelos por erosión hídrica.
5. Propiciar el repoblamiento con especies nativas en las laderas alto andinas para incrementar la conservación de suelo y agua.

VII. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Albán, A. 2009. Índice preliminar de compactación y propiedades hidrológicas en suelos cálcicos bajo caña de azúcar (*Saccharum officinarum* L). Tesis Mg.Sc. Palmira, CO. Universidad nacional de Colombia.
- Alegre, J. C. 1979. Medida de la erosión hídrica de un entisol de la selva alta, bajo diferentes sistemas de cultivo. Tesis Mag. Sc. Universidad Nacional Agraria La Molina. Lima, Perú. 106 p.
- Almorox, J, López, F. y Rafaelli, S. 2010. La Degradación de los suelos por erosión hídrica, métodos y estimación. Murcia, ES. Universidad de Murcia.
- Alvarado, K; López, V y Castillo, J. 2011. Pérdida de suelo por erosión hídrica en diferentes sistemas de producción con papa *Solanum tuberosum* L. Revista de ciencias agrícolas. p. 64- 72.
- ANA (Autoridad Nacional del Agua, PE). 2010. Evaluación de los recursos Hidricos en la cuenca del rio Rimac. Lima. Volumen 1. 226 p.
- Barriga, C. 1994. “Bases para el manejo de la cuenca del río Rimac” Tesis Ing. Forestal. Universidad Nacional Agraria La Molina. 139 p.
- Bertoni, J. 1960. Conservacao do solo em pastozem. Instituto Agronómico de Campinas. Seccion de conservación de suelos. Sao Paulo, Brasil.
- Bienes, R. S/F. Influencia del cultivo de cereal y de la vegetación herbácea natural sobre la erosión del suelo y la infiltración. Servicio de Investigación Agraria Comunidad de Madrid, ES (en línea). Consultado 16 Febrero 2018. Disponible en: https://www.researchgate.net/profile/Ramon_Bienes2/publication/259389188_Influencia_del_cultivo_de_cereal_y_de_la_vegetacion_herbacea_natural_sobre_la_erosion_del_suelo_y_la_infiltracion/links/02e7e52b565f7cc9a2000000/Influencia-del-cultivo-de-

- cereal-y-de-la-vegetacion-herbacea-natural-sobre-la-erosion-del-suelo-y-la-infiltracion.pdf.
- Bruinjnzeel, L. 1990. Hidrology of mosist tropical and forest of conversion: A state of knowledge review. UNESCO - IHP, ISHS, ITC. Free University, Amsterdam, Holanda. 224p.
- Buckman, H. y Brady, N. 1966. Naturaleza y propiedades de los suelos. Editorial Momtener y Simón S.A. Barcelona, Epaña. 590 p.
- Carabias, J. 1996. Segunda Conferencia Regional Latinoamericana y del Caribe sobre la Convención de Lucha contra la Desertificación. Conferencia magistral presentada en el acto de Inauguración. Distrito Federal, México.
- Castillo, J y Amézquita, E. 2003. Erosión hídrica y degradación de suelos en laderas andinas (en línea). Revista de ciencias agrícolas v.20. p. 80-89. CO. Consultado 16 Febrero 2018. Disponible en: <http://revistas.udenar.edu.co/index.php/rfacia/article/view/671/809>
- CEDEPAS (Centro Ecuménico de Promoción y Acción Social Centro). 1998. Manual de plantaciones forestales en zonas alto andinas del Perú. 60 p.
- CIAT (Centro Internacional de Agricultura Tropical). 1999. Conservación de suelos y agua en la zona andina. Hacia el desarrollo de un concepto integral. Publicación CIAT N° 309.
- Cruz, E; Chela, E; Monar, C; Valverde, F y Cartagena, Y. S/F. Evaluación de la pérdida productiva y económica por la erosión hídrica en tres sistemas de producción en la Microcuenca del Rio Alumbre, provincia Bolívar, Ecuador. Instituto Nacional Autónomo de Investigaciones Agropecuarias. Universidad Estatal de Bolívar.
- Do Prado, W y Da Veiga, M. 1993. Erosión y pérdida de fertilidad del suelo. Taller sobre la Utilización de un Sistema de Información Geográfica (SIG) en la Evaluación de la Erosión Actual de Suelos y la Predicción del Riesgo de Erosión Potencial. Santiago, Chile.

- Dourojeanni, M. J. 1982. Recursos naturales y desafío en America Latina y El Caribe. Universidad de Lima. 437 p.
- Ellemberg, H. 1983. “ Desarrollar sin destruir” Instituto de Ecología. La Paz, Bolivia. 54p.
- ENA (Escuela Nacional de Agricultura). 1974. Manual de conservación del suelo. Colegio de Postgraduados. México. 248 p.
- FAO (Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura). 1976. La erosión del suelo por el agua”. Roma, IT. 207 p.
- FAO (Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura). 1980. Metodología provisional para la evaluación de la degradación de los suelos. Roma, IT. 86 p.
- FAO (Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura) . 1992. Erosión de Suelo En América Latina. Santiago. Chile. 219 p.
- FAO (Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura).1977. “Conservación in arid and semiarid zones”. Roma.
- FAO-PUNUMA-UNESCO. (Organización de las Naciones Unidas para la Educación Ciencia y Cultura). 1980. Metodologia provisional para la evaluación de la degradación de los suelos. FAO-PNUMA. Roma
- FAO (Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura). 1993. La erosión potencial de los suelos en Argentina, Paraguay, Santiago de Chile, Chile.
- Felipe-Morales, C. 1986. Relación agua/suelo bajo condiciones del agroecosistema andino. En el Agrosistema Andino: Problemas, Limitaciones, Perpectivas. Lima-Perú. 349 p.
- Ferraté, L. 1972. Programa para el manejo y conservación de los recursos suelo, vegetación y agua de la región del altiplano de Guatemala, Mimeog.12 p.
- Fournier, F.1969. Climat et Erosión. Presses Universitarios de Paris. Paris, Francia.

- Gómez A.; Alarcón C, H. Erosión In: FEDECAFE, CENECAFE. Manual de conservación de suelo de ladera. Chinchina, Cenicafé. 73 p. Colombia.
- Guerrero, J. 1993. Controlemos el dramático proceso de erosión hídrica en el Perú, Manual Técnico. DIACONIA. Lima, Perú. 100 p.
- Guerrero, B. J. 2003. Curso: Gestión de la calidad del suelo. E.P.G.-UNALM. Lima Perú. 194 p.
- Gutierrez, D. M. 1990. Determinación del índice de erosividad de las lluvias y su relación con la cobertura vegetal, suelo y pendiente, para la Cuenca del río Grande de Terraba, Costa Rica. Tesis M. Sc. Universidad de Costa Rica.
- Haigh, M. 1977. The use of erosion pins in the study of slope evolution. In British geomorphological research Group. Tech. Shorter technical methods. University of Chicago. Illinois, USA. v. 18. p. 31-48.
- Hudson, W. 1997. Medición sobre el terreno de la erosión del suelo y de la escorrentía. FAO Roma (En línea). Roma, IT. Consultado 16 Febrero 2018. Disponible en: <http://www.fao.org.ars/simich.pdf>
- Hudson, N. 1982, “ Conservación del suelo”, Editorial Reverte. Barcelona – España. 335 p.
- Hurni, H 1988, Degradación and conservación of the resources in the Ethiopian highlands”. En Mountain Research and Development. Vol. 8 #2, 123-130 p.
- INGEMMET (Instituto Geológico, Minero y Metalurgico, PE). 1988. Estudio Geodinamico de la cuenca del rio Rimac. Lima – Perú. 364 p.
- IGAC (Instituto Geografico Agustin, Codazzi, CO). 1978. Los suelos, su uso y manejo. Cartilla divulgativa para el agricultor colombiano. Santafé de Bogota.
- Joseph, L; Pikul, J; Kristian, J. 2003. Water infiltration and storage affected by subsoiling and subsequent tillage. V. 67. p. 859–867.
- Kirkby, M y Morgan, R. 1984. Erosión de Suelos. Editorial Limusa. México. Primera Edición. 368 p.

- Kojan, E y Hutchinson, J. 1978. Mayunmarca Rokcslide and Dbrid Flor. Perú En: Rockslides and Avalanche, 1 natural Phenomena. Elsevier Scientifie Publishing Company. Amsterdam-Oxford. New York 1978.p: 315-361.
- Lal, R. 1988. Soil erosión research methods. Lowa, USA: Solil and wáter conservation society. 244 p.
- La Torre, B. 1985. Efecto de sistema de cultivo sobre la escorrentía, erosión y pérdida de suelo en un entisol de la selva alta-CAP Jose Santos Atahualpa, San Ramón-Chanchamayo. Tesis Ing. Y MSc. Universidad Nacional Agraria, La molina-Perú. 136 p.
- Lopez, C. D. 1996. Procesos de erosión hídrica en andenes abandonados de la comunidad campesina de San Juan de Iris- Santa Eulalia (Lima). Tesis, UNALM. Lima-Perú.
- Low, F. 1987. La conservación de suelo en el mundo. Seminario Internacional de Conservación de Suelos y Aguas. Universidad Nacional Agraria. La Molina y Fundación Friedrich Ebert. Lima, Perú.
- Lemus, M., y Navarro, G. 2003. Manual para el desarrollo de obras de conservación de suelos. Corporación Nacional Forestal. Chile. 16 p.
- Llerena, C. 1987. Erosion and sedimentation issues in Perú. In IASH. N° 156. p. 3-14.
- Llerena, C. 1988. Uso de varillas para medir la erosión hídrica. En: Revista Forestal, Perú. 15(2): 47-57.
- Mamani, O. 1990. Evaluación de la erosión hídrica en parcelas de escorrentía bajo condiciones controladas. Tesis para optar el título de Ing. Agrícola. Lima, PE. Universidad Nacional Agraria La Molina. 96 p.
- Márques, M; Jiménez, L; Alonso-Blázquez, N; García-Estríngana, P; Alegre, J. y Bienes, R. 2003. Evaluación de la contaminación difusa por metales pesados originada por erosión hídrica en suelos enmendados con lodos de depuradora. Simposio Nacional Sobre Control de la Erosión y Degradación del Suelo. Madrid, Epaña. p. 417-421.
- Martens, D. 2002. Relationship between plant phenolic acids released during soil mineralization and aggregate stabilization. V. 66, p. 1857-1867.

- Morgan, R. 1997. Erosión y conservación del suelo. Ed. Mundi-Prensa. Madrid, España. 343 p.
- Mendoza, M; Tinoco, R. 1994. Evaluación de pérdida de suelo en diferentes cultivos y pendientes (en línea). Manual de métodos sencillos para evitar la erosión hídrica. Managua, NI. Consultado 20 de diciembre 2017. Disponible en: <https://es.slideshare.net/marcosalas/1180647717manual-de-erosión>.
- Meyer, L. D. 1979, Methods for attaning desired rainfall characteristics in rainfall. Proceeding of rainfall simulator workshop. Tucson Arizona. Departament of Agricultural Science and Educación Administration Agricultural Revieww and Manuals. Am W10. 35-45 p.
- ONERN (Oficina Nacional de Evaluacion de Recursos Naturales). 1984. Evaluación de los Recursos Naturales de la zona alto andina del Peru. Lima, Perú. 180 p.
- ONERN (Oficina Nacional de Evaluacion de Recursos Naturales). 1988. Plan Nacional de Acción contra la Desertificación en el Perú. Lima - Perú.
- OEA (Organización de los Estados Americanos).1973. Estudio de la erosión en el Perú. Lima - Perú.
- Pastor, R. 1992. Evaluacion de la erosión Hídrica en la zona de Chanchamayo – Junin utilizando como cobertura vegetal el cultivo del camote (*Ipomoea batatas L*). Tesis Ing. Agri. Lima – Perú. Universidad Nacional Agraria la Molina. 157 p.
- Paulet, M. 1968. Bases para la sustentación de una política de conservación de suelos en el Peú. Edit. Trillas. Lima, Perú. Universidad Nacional Agraria La Molina. 125 p.
- PHI (Programa Hidrologico Internacional de la UNESCO. Para America Latina y el Caribe).2010. Organización de las Naciones Unidas para la Educación Ciencia y Cultura. Montivideo Uruguay 133 p.
- Pizarro, R. y Cutiño, H. 2003. Método de evaluación de la erosión hídrica superficial en suelos desnudos en Chile. En Cuaderno de la Sociedad Española de Ciencias Forestales. Madrid, España.

- PRONAMACHCS (Programa Nacional de Manejo de Cuencas Hidrográficas y Conservación de Suelos). 1988. Pérdida de suelo anual hacia el Pacífico en el Perú. Conservación de Suelos. Manual Técnico. 200 p.
- PROCUENCA (Pro Cuenca San Juan). 2004. Formulación del plan estratégico de acción para la gestión integrada de los recursos hídricos de la cuenca del río San Juan. Costa Rica.
- Rebaza, A. 1977. Parcelas experimentales para la investigación del control de la erosión y escorrentía. Ministerio de Agricultura. Dirección General de Aguas. Boletín Técnico N° 6. 16 p.
- Reynolds, W.; Bowman, B.; Drury, C.; Tan, C. y Lu, X. 2002. Indicators of good soil quality: density and storage parameters. *Geoderma* 110:131-146.
- Rocha F.A. 1982. Algunos aspectos de la erosión. Transporte y control de sedimentos en el río Amarillo (China) aplicado a la realidad peruana. Lima 22 p.
- Silva, C. 2002. Estudio de técnicas para la eliminación de residuos forestales y agrícolas en la VI región. Memoria para optar al título de Ingeniero Forestal. Santiago, Chile. Universidad de Chile. 73 p.
- Suarez de Castro, F. 1979. Conservación de suelos. Instituto Internacional de Ciencias Agrícolas. Editorial IICA. Costa Rica. 315 p.
- Suarez de Castro F. y Rodriguez, G. 1962. Investigación sobre la erosión y la evaluación de los suelos en Colombia. Federación de cafeteleros. Bogotá. 473 p.
- Wischmeier, W. y Smith, A. 1961. Universal soil-loss equation to guide conservation farm planning. *Trans. 7th International Cong. of Soil Sci.* 1:418
- Wischmeier, W. y Smith, A. 1978. Predicting rainfall erosion losses. A guide to conservation planning. Agricultural. Handbook N° 537. Department of Agriculture, Washington DC, USA. 258 p.
- Zachar, O. 1982. Soil erosion. Elsevier. Amsterdam, Holanda. 547 p.

VIII. ANEXOS

ANEXO 1. ANALISIS DE SUELO



UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA LA MOLINA
FACULTAD DE AGRONOMIA
LABORATORIO DE ANALISIS DE SUELOS, PLANTAS, AGUAS Y FERTILIZANTES



INFORME DE ANALISIS ESPECIAL EN SUELO

SOLICITANTE : TEODOSIO CELSO QUISPE OJEDA
PROCEDENCIA : LIMA/ HUAROCHIRI/ SAN MATEO DE HUANCHOR
REFERENCIA : H.R. 56760
BOLETA : 13773
FECHA : 30/11/2016

Lab	Número Muestra Claves	D.A. g/cm ³
4188	Muestra 1	1.39
4189	Muestra 2	1.33
4190	Muestra 3	1.36
4191	Muestra 4	1.41

Sady García Bendezi
Jefe del Laboratorio

ANEXO 2. ÁLBUM DE FOTOGRAFIAS



Fotografía 1. Limpieza del área del proyecto



Fotografía 2. Medición del área de investigación en San Mateo



Fotografía 3. Área de investigación instalada – San Mateo



Fotografía 4. Varillas para medición de pérdidas de suelo



Fotografía 5. Instalación de las varillas para medir la pérdida de suelo



Fotografía 6. Medicion de pendiente



Fotografía 7. Limpieza y mantenimiento de área de investigación



Fotografía 8. Paecela cubierta con mulch

ANEXO 3. ANÁLISIS ESTADÍSTICOS

CARACTERÍSTICAS BÁSICAS DE LOS TRATAMIENTOS EN ESTUDIO

Trat.	Bloque	Altura (m/año)	Pendiente (%)	Densidad aparente (t/m ³)	Precipitado anual promedio (mm)	Altitud (msnm)	Coordenadas	
							Este	Norte
I	1	0.00099745	35	1.39	573.6	3320	358150.23	8699934.9
	2	0.0006829	35	1.39	573.6	3320	358150.23	8699934.9
	3	0.00074408	35	1.39	573.6	3320	358150.23	8699934.9
	4	0.00071308	35	1.39	573.6	3320	358150.23	8699934.9
Prom.		0.00078438		1.39				
II	1	0.00323808	35	1.33	573.6	3320	358150.23	8699934.9
	2	0.00351345	35	1.33	573.6	3320	358150.23	8699934.9
	3	0.00332978	35	1.33	573.6	3320	358150.23	8699934.9
	4	0.00340973	35	1.33	573.6	3320	358150.23	8699934.9
Prom.		0.00337276		1.33				
III	1	0.00130983	35	1.36	573.6	3320	358150.23	8699934.9
	2	0.00118158	35	1.36	573.6	3320	358150.23	8699934.9
	3	0.00136283	35	1.36	573.6	3320	358150.23	8699934.9
	4	0.0012017	35	1.36	573.6	3320	358150.23	8699934.9
Prom.		0.00126398		1.36				
IV	1	0.00223155	35	1.41	573.6	3320	358150.23	8699934.9
	2	0.00199435	35	1.41	573.6	3320	358150.23	8699934.9
	3	0.00201335	35	1.41	573.6	3320	358150.23	8699934.9
	4	0.00189008	35	1.41	573.6	3320	358150.23	8699934.9
Prom.		0.00203233		1.41				

MODELO LINEAL

1. MODELO LINEAL GENERAL: SETIEMBRE vs. TRAT, bloque

Análisis de Varianza

Fuente	GL	SC Ajust.	MC Ajust.	Valor F	Valor p
TRA.	3	1.6548	0.55159	14.57	0.001
bloque	3	0.1424	0.04748	1.25	0.347
Error	9	0.3406	0.03785		
Total	15	2.1379			

Medias

Error estándar	Media ajustada	de la media
Término		
TRA.		
1	0.0000	0.0973
2	0.8624	0.0973
3	0.3506	0.0973
4	0.6279	0.0973

COMPARACIONES PARA SETIEMBRE

Comparaciones por parejas de Tukey: Respuesta = SETIEMBRE, Término = TRAT.

Agrupar información utilizando el método de Tukey y una confianza de 95%

TRA.	N	Media	Agrupación
2	4	0.862422	A
4	4	0.627891	A B
3	4	0.350625	B C
1	4	0.000000	C

Las medias que no comparten una letra son significativamente diferentes.

2. MODELO LINEAL GENERAL: OCTUBRE vs. TRAT, bloque

Análisis de Varianza

Fuente	GL	SC Ajust.	MC Ajust.	Valor F	Valor p
TRA.	3	8.567	2.856	2.66	0.111
bloque	3	18.144	6.048	5.64	0.019
Error	9	9.650	1.072		
Total	15	36.361			

Medias

Error estándar	Media ajustada	Error de la media
Término		
TRA.		
1	1.500	0.518
2	2.912	0.518
3	2.296	0.518
4	3.469	0.518

COMPARACIONES PARA OCTUBRE

Comparaciones por parejas de Tukey: Respuesta = OCTUBRE, Término = TRA.

Agrupar información utilizando el método de Tukey y una confianza de 95%

TRA.	N	Media	Agrupación
4	4	3.46869	A
2	4	2.91212	A
3	4	2.29594	A
1	4	1.50016	A

Las medias que no comparten una letra son significativamente diferentes.

3. MODELO LINEAL GENERAL: NOVIEMBRE vs. TRA, bloque

Análisis de Varianza

Fuente	GL	SC	Ajust.	MC	Ajust.	Valor F	Valor p
TRA.	3		43.50		14.500	12.95	0.001
bloque	3		18.14		6.048	5.40	0.021
Error	9		10.08		1.120		
Total	15		71.72				

Medias

	estándar	Error
Término	Media ajustada	de la media
TRA.		
1	2.154	0.529
2	6.743	0.529
3	4.130	0.529
4	4.951	0.529

COMPARACIONES PARA NOVIEMBRE

Comparaciones por parejas de Tukey: Respuesta = NOVIEMBRE, Término = TRA.

Agrupar información utilizando el método de Tukey y una confianza de 95%

TRA.	N	Media	Agrupación
2	4	6.74293	A
4	4	4.95095	A B
3	4	4.13041	B C
1	4	2.15389	C

Las medias que no comparten una letra son significativamente diferentes.

1. MODELO LINEAL GENERAL: DICIEMBRE vs. TRA, bloque

Análisis de Varianza

Fuente	GL	SC	Ajust.	MC	Ajust.	Valor F	Valor p
TRA.	3		265.44		88.481	49.33	0.000
bloque	3		15.17		5.057	2.82	0.100
Error	9		16.14		1.794		
Total	15		296.76				

Medias

	Media	Error
estándar		
Término	ajustada	de la
TRA.		media
1	2.849	0.670
2	14.131	0.670
3	6.628	0.670
4	8.608	0.670

COMPARACIONES PARA DICIEMBRE

Comparaciones por parejas de Tukey: Respuesta = DICIEMBRE, Término = TRA.

Agrupar información utilizando el método de Tukey y una confianza de 95%

TRA.	N	Media	Agrupación
2	4	14.1307	A
4	4	8.6083	B
3	4	6.6276	B
1	4	2.8489	C

Las medias que no comparten una letra son significativamente diferentes.

2. MODELO LINEAL GENERAL: ENERO vs. TRA, bloque

Análisis de Varianza

Fuente	GL	SC	Ajust.	MC	Ajust.	Valor F	Valor p
TRA.	3		531.89		177.297	99.06	0.000
bloque	3		15.18		5.060	2.83	0.099
Error	9		16.11		1.790		
Total	15		563.18				

Medias

	Media	Error
estándar		
Término	ajustada	de la
TRA.		media
1	3.374	0.669
2	19.288	0.669
3	8.244	0.669
4	10.285	0.669

COMPARACIONES PARA ENERO

Comparaciones por parejas de Tukey: Respuesta = ENERO, Término = TRA.

Agrupar información utilizando el método de Tukey y una confianza de 95%

TRA.	N	Media	Agrupación
2	4	19.2877	A
4	4	10.2846	B
3	4	8.2445	B
1	4	3.3741	C

Las medias que no comparten una letra son significativamente diferentes.

3. MODELO LINEAL GENERAL: FEBRERO vs. TRA, bloque

Análisis de Varianza

Fuente	GL	SC Ajust.	MC Ajust.	Valor F	Valor p
TRA.	3	626.06	208.686	95.35	0.000
bloque	3	13.69	4.563	2.08	0.173
Error	9	19.70	2.189		
Total	15	659.44			

Medias

Término	Media ajustada	Error estándar de la media
TRA.		
1	5.601	0.740
2	22.800	0.740
3	10.625	0.740
4	12.675	0.740

COMPARACIONES PARA FEBRERO

Comparaciones por parejas de Tukey: Respuesta = FEBRERO, Término = TRA.

Agrupar información utilizando el método de Tukey y una confianza de 95%

TRA.	N	Media	Agrupación
2	4	22.7999	A
4	4	12.6753	B
3	4	10.6248	B
1	4	5.6006	C

Las medias que no comparten una letra son significativamente diferentes.

4. MODELO LINEAL GENERAL: MARZO vs. TRA, bloque

Análisis de Varianza

Fuente	GL	SC Ajust.	MC Ajust.	Valor F	Valor p
TRA.	3	1672.15	557.384	224.63	0.000
bloque	3	10.83	3.608	1.45	0.291
Error	9	22.33	2.481		
Total	15	1705.31			

Medias

		Error
estándar	Media	de la
Término	ajustada	media
TRA.		
1	8.121	0.788
2	35.382	0.788
3	13.716	0.788
4	16.942	0.788

COMPARACIONES PARA MARZO

Comparaciones por parejas de Tukey: Respuesta = MARZO, Término = TRA.

Agrupar información utilizando el método de Tukey y una confianza de 95%

TRA.	N	Media	Agrupación
2	4	35.3819	A
4	4	16.9419	B
3	4	13.7156	B
1	4	8.1208	C

Las medias que no comparten una letra son significativamente diferentes.

5. MODELO LINEAL GENERAL: ABRIL VS. TRA, BLOQUE

Análisis de Varianza

Fuente	GL	SC Ajust.	MC Ajust.	Valor F	Valor p
TRA.	3	2353.74	784.582	309.05	0.000
bloque	3	8.96	2.986	1.18	0.372
Error	9	22.85	2.539		
Total	15	2385.55			

Medias

		Error
	Media	estándar
Término	ajustada	de la
TRA.		media
1	10.249	0.797
2	42.209	0.797
3	16.404	0.797
4	27.178	0.797

Comparaciones para ABRIL

Comparaciones por parejas de Tukey: Respuesta = ABRIL, Término = TRA.

Agrupar información utilizando el método de Tukey y una confianza de 95%

TRA.	N	Media	Agrupación
2	4	42.2086	A
4	4	27.1784	B
3	4	16.4038	C
1	4	10.2494	D

Las medias que no comparten una letra son significativamente diferentes.

6. MODELO LINEAL GENERAL: MAYO VS. TRA., BLOQUE

Análisis de Varianza

Fuente	GL	SC Ajust.	MC Ajust.	Valor F	Valor p
TRA.	3	2526.63	842.211	293.93	0.000
bloque	3	9.47	3.155	1.10	0.398
Error	9	25.79	2.865		
Total	15	2561.89			

Medias

Término	Media ajustada	Error estándar de la media
TRA.		
1	10.903	0.846
2	43.996	0.846
3	17.190	0.846
4	28.336	0.846

Comparaciones para MAYO

Comparaciones por parejas de Tukey: Respuesta = MAY, Término = TRA.

Agrupar información utilizando el método de Tukey y una confianza de 95%

TRA.	N	Media	Agrupación
2	4	43.9960	A
4	4	28.3364	B
3	4	17.1901	C
1	4	10.9028	D

Las medias que no comparten una letra son significativamente diferentes.

7. MODELO LINEAL GENERAL: JUNIO VS. TRA., BLOQUE

Análisis de Varianza

Fuente	GL	SC Ajust.	MC Ajust.	Valor F	Valor p
TRA.	3	2643.01	881.005	316.43	0.000
bloque	3	9.09	3.030	1.09	0.403
Error	9	25.06	2.784		
Total	15	2677.16			

Medias

Error estándar

Término	Media ajustada	de la media
TRA.		
1	10.903	0.834
2	44.703	0.834
3	17.190	0.834
4	28.656	0.834

Comparaciones para JUNIO

Comparaciones por parejas de Tukey: Respuesta = JUNIO, Término = TRA.

Agrupar información utilizando el método de Tukey y una confianza de 95%

TRA.	N	Media	Agrupación
2	4	44.7025	A
4	4	28.6559	B
3	4	17.1901	C
1	4	10.9028	D

Las medias que no comparten una letra son significativamente diferentes.

8. MODELO LINEAL GENERAL: JULIO VS. TRA., BLOQUE

Análisis de Varianza

Fuente	GL	SC Ajust.	MC Ajust.	Valor F	Valor p
TRA.	3	2667.09	889.028	292.94	0.000
bloque	3	8.46	2.821	0.93	0.465
Error	9	27.31	3.035		
Total	15	2702.86			

Medias

Término	Media ajustada	Error estándar de la media
TRA.		
1	10.903	0.871
2	44.858	0.871
3	17.190	0.871
4	28.656	0.871

Comparaciones para JULIO

Comparaciones por parejas de Tukey: Respuesta = JULIO, Término = TRA.

Agrupar información utilizando el método de Tukey y una confianza de 95%

TRA.	N	Media	Agrupación
2	4	44.8577	A
4	4	28.6559	B
3	4	17.1901	C
1	4	10.9028	D

Las medias que no comparten una letra son significativamente diferentes.

9. MODELO LINEAL GENERAL: AGOSTO VS. TRA., BLOQUE

Análisis de Varianza

Fuente	GL	SC Ajust.	MC Ajust.	Valor F	Valor p
TRA.	3	2667.09	889.028	292.94	0.000
bloque	3	8.46	2.821	0.93	0.465
Error	9	27.31	3.035		
Total	15	2702.86			

Medias

Término	Media ajustada	Error estándar de la media
TRA.		
1	10.903	0.871
2	44.858	0.871
3	17.190	0.871
4	28.656	0.871

Comparaciones para AGOSTO

Comparaciones por parejas de Tukey: Respuesta = AGOS, Término = TRA.

Agrupar información utilizando el método de Tukey y una confianza de 95%

TRA.	N	Media	Agrupación
2	4	44.8577	A
4	4	28.6559	B
3	4	17.1901	C
1	4	10.9028	D

Las medias que no comparten una letra son significativamente diferentes.

8/12/2017 1:16:37 p. m.

Bienvenido a Minitab, presione F1 para obtener ayuda.
Recuperando proyecto desde el archivo: 'C:\Users\Celso\Documents\TESIS
CELSO 2016 I 90% ULTIMO-I\trabajo final de celso.MPJ'