



UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERIA
Facultad de Tecnología de la Construcción

Monografía

**Estimación del factor de erodabilidad (factor K) del suelo en el Centro
Experimental Agrícola CEA-UNI, Municipio de Tisma, Departamento de
Masaya.**

Para optar al título de ingeniero agrícola

Elaborado por

Br. Carlos Eduardo Rivera Ocampo.

Br. Emmanuel Steven Alguera Ruiz.

Tutor

M.Sc. Rosario Sotelo.

Asesor

Ing. Miguel Blanco.

Managua, Noviembre 2016

RESUMEN

El estudio titulado “*Estimación del factor de erodabilidad (factor K) del suelo en el Centro Experimental Agrícola CEA-UNI, Municipio de Tisma, Departamento de Masaya*”, con un área útil de 120 m² (área de las parcelas demostrativas), son suelo franco arcilloso y pendiente de 0.3%, cuya ubicación se encuentra entre las coordenadas latitud norte 12°00´5.33’’ y longitud oeste 85°59´90.8’’.

El objetivo del presente estudio fue estimar la erodabilidad del suelo (factor K), para los meses de mayo y junio del año 2016, Se utilizó la ecuación universal de pérdida de suelo (E.U.P.S.), la cual está compuesta por 6 factores, despejando K (factor de erodabilidad), se estableció un experimento con 4 tratamientos; parcela con suelo desnudo (P1), parcela con malezas (P2), parcela con cultivo de maíz sin practicas convencionales (P3) y parcela con cultivo de maíz con prácticas convencionales (P4), cada parcela tuvo una dimensión de 5 metros de ancho y 6 metros de largo, para un área útil de 30 m².

El estudio demuestra que las mayores pérdidas reales de suelo se dieron en P4 con una pérdida de suelo de 2.504642 ton/ha y en P2 presentaron perdidas de suelo menores con 1.414522 ton/ha. Además las pérdidas de suelo en todos los tratamientos fueron relativamente moderadas en comparación a los niveles de tolerancia T de pérdida de suelo propuesta por la FAO (1980).

Obteniendo distintos valores de K (factor de erodabilidad), para cada uno de los tratamientos con 3.16 E-05 ton /ha para P1, 3.97 E-07 ton/ha para P2, 1.08 E-05 ton/ha para P3 y 1.72 E-05 ton/ha para P4, con R (factor de erosividad) con 7.6511 MJ mm/ha-hr para el mes de mayo y 31.3798 MJ mm/ha-hr para el mes de junio. En relación al Factor C (factor de cultivo), 1 para P1, 0.017 para P2, 0.5 para P3 y 0.32 para P4, con L (factor de longitud) y S (factor de grado de pendiente) de 0.77 y 0.079 respectivamente para todos los tratamientos, y P (factor de prácticas de conservación de suelo), no se asumió por no existir prácticas de conservación de suelos en el área de estudio, y se tomó el valor de 1 para la ecuación.

INDICE

| | | |
|------|--|----|
| I. | INTRODUCCION..... | 1 |
| II. | ANTECEDENTES | 3 |
| III. | JUSTIFICACIÓN | 5 |
| IV. | OBJETIVOS | 6 |
| | 4.1. Objetivo general | 6 |
| | 4.2. Objetivos específicos..... | 6 |
| V. | MARCO TEÓRICO..... | 7 |
| | 5.1. Degradación de los suelos por erosión | 7 |
| | 5.2. Erosión hídrica en campos agrícolas | 8 |
| | 5.3. Estudio de la erosión hídrica en Nicaragua | 10 |
| | 5.4. Conservación de suelos frente a la política ambiental de Nicaragua... | 11 |
| | 5.5. Ecuación universal de pérdida de suelo | 14 |
| | 5.5.1 La ecuación universal de pérdida de suelo (E.U.P.S. o por sus siglas en ingles U.S.L.E.) | 14 |
| | 5.5.2 Tamaño de las parcelas | 16 |
| | 5.6. Factores para estimar la pérdida de suelo | 17 |
| | 5.6.1 Factor de erosividad R | 17 |
| | 5.6.3 Factor de erodabilidad K..... | 19 |
| | 5.6.4 Factores de longitud de pendiente L y factor de gradiente de pendiente S | 20 |
| | 5.6.5 Factor de cobertura vegetal C | 21 |
| | 5.6.6 Factor de prácticas de conservación P | 21 |
| | 5.7 Tolerancia de pérdida de suelo | 21 |
| | 5.8 Simulador de lluvia portátil..... | 22 |
| | 5.8.1 Definición | 23 |
| | 5.8.2 Partes y accesorios del simulador de lluvia portátil | 24 |
| | 5.8.3 Especificaciones técnicas del simulador de lluvia portátil..... | 25 |
| | 5.8.4 Aplicaciones del simulador portátil | 26 |
| VI. | HIPOTESIS | 27 |
| | 6.1. Hipótesis de Investigación | 27 |

| | |
|--|-----------|
| 6.2. Hipótesis Alternativa | 27 |
| 6.3. Hipótesis Nula..... | 27 |
| VII. MATERIALES Y MÉTODOS..... | 28 |
| 7.1. Localización y características del área de estudio..... | 28 |
| 7.1.1 Macrolocalización..... | 28 |
| 7.1.2 Microlocalización..... | 29 |
| 7.1.3 Recopilación de información..... | 29 |
| 7.1.4 Trabajo de campo | 30 |
| 7.1.5 Aspectos socio-económico | 30 |
| 7.2. Características del medio físico del CEA-UNI..... | 31 |
| 7.2.1. Características de los suelos en el CEA-UNI | 31 |
| 7.2.2. Uso actual del suelo y vegetación | 31 |
| 7.2.3. Cultivo utilizado en el ensayo..... | 31 |
| 7.2.4. Condiciones climáticas del lugar | 32 |
| 7.3. Diseño experimental | 34 |
| 7.3.1. Los tratamientos..... | 34 |
| 7.3.2. Construcción de las parcelas demostrativas..... | 36 |
| 7.3.3. Manejo del ensayo y metodología parcelas demostrativas..... | 39 |
| 7.3.4. Simulador de lluvia portátil..... | 40 |
| 7.4. Caracterización de los episodios de lluvia durante el periodo experimental..... | 42 |
| 7.5. Limitaciones para el cálculo del factor R | 42 |
| VIII. ANALISIS E INTERPRETACION DE RESULTADOS | 44 |
| 8.1. Caracterización de las propiedades físicas y químicas del suelo | 44 |
| 8.1.1. Densidad del suelo | 46 |
| 8.1.2. Capacidad de campo..... | 46 |
| 8.1.3. Materia orgánica | 46 |
| 8.1.4. Porosidad | 47 |
| 8.1.5. Textura..... | 47 |
| 8.2. Comportamiento de las parcelas demostrativas tipo USLE..... | 48 |
| 8.3. Pérdida de suelo en parcelas de escorrentía..... | 49 |
| 8.4. Volumen de Escorrentía | 50 |
| 8.5. Concentración de sedimentos en las parcelas demostrativas..... | 50 |

| | |
|--|----|
| 8.6. Cálculos para las parcelas de escorrentía para los meses de mayo y junio | 50 |
| 8.7. Parámetros para el cálculo de la erodabilidad del suelo (Factor K) utilizando el modelo de la ecuación USLE | 54 |
| 8.8. Influencia del factor k en las perdidas del suelo erosionado en las parcelas experimentales | 57 |
| 8.9. Determinación del factor K por medio del nomograma | 58 |
| 8.10. Valor del Factor K por medio de litología | 59 |
| 8.11. Calculo de sedimentos arrastrados por medio del simulador de lluvia portátil..... | 60 |
| 8.13. Comparación de los resultados obtenidos de los sedimentos arrastrados en las parcelas demostrativas y con el simulador de lluvia portátil..... | 61 |
| IX. CONCLUSIONES..... | 63 |
| X. RECOMENDACIONES | 65 |
| XI. BIBLIOGRAFÍA..... | 66 |
| XII. ANEXOS | 72 |

INDICE DE TABLAS.

| | |
|--|----|
| Tabla 1 unidades de medidas de los factores de la EUPS..... | 15 |
| Tabla 2. Tolerancia de pérdida de suelo en su profundidad..... | 22 |
| Tabla 3. Categorías de pérdida de suelo. | 22 |
| Tabla 4: Descripción morfológica del perfil del campo experimental CEA-UNI y de los distintos horizontes. | 45 |
| Tabla 5: Resumen de los resultados de las propiedades de suelo de las parcelas demostrativas en el CEA-UNI..... | 46 |
| Tabla 6: Sedimentos recolectados, registro de escorrentía y registro de infiltración de las parcelas demostrativas. | 48 |
| Tabla 7: Volumen de agua infiltrada, volumen recolectado y sedimentos recolectados para el mes de mayo..... | 51 |
| Tabla 8: Volumen de agua infiltrada, volumen recolectado y sedimentos recolectados para el mes de junio..... | 53 |
| Tabla 9: Factores de la USLE para determinación de K para el mes de Mayo. | 56 |
| Tabla 10: Factores de la USLE para determinación de K para el mes de junio. ... | 56 |
| Tabla 11: Resumen total para ambos meses evaluados de sedimentos arrastrados vs factor K. | 57 |
| Tabla 12: Propiedades físicas para el cálculo de K por el nomograma..... | 59 |
| Tabla 13: Datos para la obtención de K por medio de litología. | 59 |
| Tabla 14: Datos obtenidos del simulador de lluvia en las parcelas experimentales en el CEA-UNI..... | 60 |

INDICE DE FIGURAS.

| | |
|---|----|
| Figura 1: Partes del simulador de lluvia portátil..... | 24 |
| Figura 2: Macro y Micro localización. Centro Experimental Agrícola. CEA-UNI. | 28 |
| Figura 3: Precipitación total por año (mm) de la serie 1977-2015..... | 33 |
| Figura 4: Balance hídrico del suelo para la zona de Masaya, valores climáticos medios anuales de los registros 1977 a 2015. (Rosa- evapotranspiración, purpura- precipitaciones) | 34 |
| Figura 5: Resumen de concentración de sedimentos del mes de mayo. | 51 |
| Figura 6: Resumen de concentración de sedimentos para el mes de junio. | 53 |
| Figura 7: Resumen total de sedimentos arrastrados vs Factor K..... | 57 |
| Figura 8: Datos de volumen de agua infiltrada, volumen recolectado y sedimentos en el recolector, obtenidos del simulador de lluvia portátil con una intensidad de 6.41 mm/min en las parcelas demostrativas en el CEA-UNI..... | 60 |

INDICE DE IMAGENES.

| | |
|--|----|
| Imagen 1: Condiciones de los tratamientos P1 y P2. | 35 |
| Imagen 2: Condiciones de los tratamientos P3 y P4. | 36 |
| Imagen 3: Instalación de las paredes retenedoras de las parcelas demostrativas. | 37 |
| Imagen 4: Instalación de las paredes retenedoras de las parcelas demostrativas. | 38 |
| Imagen 5: Instalación de las parcelas demostrativa. | 39 |
| Imagen 6: Regadera nivelada correctamente sobre el suelo. Instalado en P2..... | 40 |
| Imagen 7: Soporte metálico ajustable. Instalado en P1. | 40 |
| Imagen 8: Preparación del simulador de lluvia portátil para el llenado de la regadera. Instalado en P1 con los demás accesorios. | 40 |
| Imagen 9: Extracción de muestras de escorrentía y sedimentos arrastrados. Instalado en P3 con los demás accesorios. | 40 |
| Imagen 10: Simulador de lluvias portátil, prueba en P1. | 41 |
| Imagen 11: Simulador de lluvias portátil, prueba ajustado a intensidad de 6.42 mm/min en P2. | 41 |
| Imagen 12: Calicata de las parcelas demostrativas en el CEA-UNI..... | 44 |

INDICE DE ANEXOS.

Anexo 1: Calculo de K por medio del nomograma.

Anexo 2: Velocidades y clases de infiltración.

Anexo 3: Tabla para el cálculo del Factor C.

Anexo 5: Clasificación de los suelos según el valor del PH.

Anexo 4: Indicaciones de la magnitud general del factor de la erodabilidad del suelo.

Anexo 6: Planos de diseño del simulador de lluvia.

Anexo 7: Planos de diseño de la regadera del simulador de lluvia.

Anexo 8: Simulador de lluvia portátil a intensidad máxima.

Anexo 9: Diseño del tubo de aeración del simulador de lluvia.

Anexo 10: Simulador de lluvia portátil a intensidad mínima.

Anexo 11: Plano de las parcelas demostrativas con todos sus tratamientos.

Anexo 12: Delimitación del área de las parcelas demostrativas.

Anexo 13: Señalización en donde se situaran las parcelas demostrativas.

Anexo 14: Sitio en donde se ubicaran las paredes retenedoras.

Anexo 15: Instalación de las paredes retenedoras.

Anexo 16: Instalación del canal recolector.

Anexo 17: Instalación de la tubería hacia los recolectores.

Anexo 18: Plástico que protege a los recolectores de las precipitaciones.

Anexo 19: Datos climatológicos para el cálculo del factor R.

Anexo 20. Tabla para el cálculo del Factor P.

Anexo 21. Clasificación de la Densidad Aparente.

Anexo 22. Clasificación de la Densidad Real del suelo.

Anexo 23. Evaluación de la porosidad del suelo.

Anexo 24. Evaluación de la Capacidad de Campo.

Anexo 25. Evaluación del Punto de Marchites Permanente.

Anexo 26. Clasificación de acuerdo al contenido de Materia Orgánica presente en el suelo.

Anexo 27. Clasificación de K según su textura.

Anexo 28. Clasificación de rangos típicos de R anual.

Anexo 29. Valores de P mínimos para prácticas de contorno.

Anexo 30: Resumen meteorológico anual.

Anexo 31: Factor de erosividad medios mensual, elaborados con el registro total de las precipitaciones (serie 1977-2015).

I. INTRODUCCION

La erosión hídrica en Nicaragua presenta grados variables de erosión, aproximadamente 7.7 millones de hectáreas son afectadas, donde la mitad de estos suelos presenta un grado de erosión de fuerte a severo (Guido, L. J. 1997).

La erosión de suelos en Nicaragua, se ha abordado en investigaciones por parte de instituciones Nacionales con apoyo de instituciones internacionales (INETER, MAG antes MAGFOR, MARENA, FAO) y Universidad Nacional Agraria (UNA). La erosión de suelo es un gran problema, pues ocasiona reducción en la productividad de los suelos agrícolas y sedimentación de cuencas. Uno de los problemas más serios es la reducción de la fertilidad natural de los suelos por causa de la lixiviación o lavado de nutrientes y con ellos el aumento de los costos de producción de los cultivos debido a la necesidad de una mayor aplicación de fertilizantes y en casos extremos el abandono de las tierras.

La herramienta más utilizada para el cálculo de la erosión hídrica es el de la Ecuación Universal de Pérdida de Suelo (E.U.P.S. o por sus siglas en ingles U.S.L.E.), propuesta por Wischmeier y Smith en 1971 mediante elaboración de ecuaciones de estimaciones empíricas.

Esta investigación se centra en el departamento de Masaya en los suelos del Centro Experimental Agrícola (CEA-UNI), ubicado en la comarca La Bolsa, municipio de Tisma, departamento de Masaya. El CEA-UNI posee un área de 48 mz aproximadamente, el uso actual de los suelos lo ocupan diferentes tipos de cultivos (maíz, sorgo, pipián, plátano, etc) y zonas arbóreas (jocote, mango, aguacate, eucalipto, neem, etc). El CEA posee pendientes entre 0 a 1.2%, con elevación de 261 msnm. Actualmente no hay estudios relacionados con la erosión en el CEA-UNI.

La metodología empleada para este estudio fueron las parcelas de erosión o parcelas demostrativas, diseñadas por Wischmeier y Smith en 1971 que relaciona el movimiento de las partículas a causa de los eventos lluviosos, bajo 4 diferentes manejos (dos parcelas con cultivo de maíz, a diferencia que a uno se le aplica prácticas de manejo convencionales y a la otra no y otras dos parcelas sin cultivo, una dejada a la intemperie sin aplicar practica alguna y la otra aplicando prácticas de manejo convencionales), a fin de estimar en cada parcela los factores de la ecuación universal de pérdida de suelos y los efectos naturales del relieve en cuanto a la deposición y movimiento en el proceso de desprendimiento, transporte y recolección sedimentos en condiciones naturales.

II. ANTECEDENTES

En la década de los años 90, en el mundo un 25% de las tierras en uso para la agricultura estaban seriamente degradadas, poniendo en serio peligro la sobrevivencia de millones de familias, especialmente en países en vía de desarrollo. El efecto principal de la degradación del suelo es la reducción en la productividad, lo cual afecta a todos quienes dependen de ella. La forma más grave de degradación del suelo es la provocada por la erosión (Tayupanta y Córdova, 1990; Tayupanta, 1993).

Los suelos de Nicaragua se clasifican taxonómicamente como Eutrandepts (texturas medias y alta fertilidad); Vitrandepts (texturas moderadamente gruesas y alta fertilidad); Ustorthents (texturas gruesas y baja fertilidad); Argiustolls y Haplustolls (texturas finas y alta fertilidad) y Vertisoles (texturas muy finas y alta fertilidad). Por las deficiencias de uso y manejo, estos suelos se encuentran erosionados en diferentes grados. Así tenemos que el 37.3% se encuentran levemente erosionados; el 21.0% presenta una erosión moderada; el 27.6% están fuertemente erosionados; el 2.8% se encuentra severamente erosionados; el 0.3% presenta una erosión extrema (sistema de cárcavas de drenaje), y el 11.0% corresponde a las áreas receptoras de sedimentos por los procesos de erosión. (MAGFOR; INETER, 2010).

Tomando en cuenta que la erosión hídrica en Nicaragua, es un problema que causa graves consecuencias para la producción, se deriva el interés de muchas instituciones del estado (INTA, INETER), organismos no gubernamentales y privados (COSUDE, FAO), para contribuir a solucionar esta problemática. Algunos ejemplos son: el Proyecto de Control de Erosión de Managua (1982), el proyecto de control de erosión de occidente (1985), el Proyecto Agroforestal "El PITAL" (CARE Internacional, 1985) y la Universidad Nacional Agraria a través de estudios realizados por la Facultad de Recursos Naturales y del Ambiente sobre el proceso

de erosión y prácticas de conservación que ha desarrollado desde 1989 hasta la fecha, elaborado por INETER & COSUDE (2005).

En el centro experimental agrícola (CEA-UNI), no existen estudios realizados sobre la cuantificación de la degradación del suelo ocasionada por la erosión hídrica. Por esta razón, a través de esta investigación se analizó la interacción entre los niveles de precipitación y predecir los niveles de erosión hídrica.

III. JUSTIFICACIÓN

Con la estimación de la erosión mediante diferentes modelos como el paramétrico de la USLE (Wischmeier y Smith, 1978), en la mayoría de los casos, las pérdidas pequeñas de suelo estaban sobreestimadas; mientras que en el caso de pérdidas elevadas de suelo las tasas estaban subestimadas (Nearing, 1998). Las versiones modificada o revisada del modelo original, MUSLE y RUSLE (Dissmeyer & Foster, 1985; Renard et al., 1991) tampoco reproducen las pérdidas de suelo reales, de ahí la necesidad de estudiar la erosión de manera experimental en campo, para conseguir valores más acordes con la realidad.

De ahí surge la necesidad de cuantificar y predecir las pérdidas de suelos por erosión bajo diferentes sistemas de uso, manejo y conservación para suprimir o reducir las afectaciones erosivas que franquea un suelo vulnerable.

Este estudio tiene el propósito de aplicar esta metodología (parcelas de erosión) para predecir la erodabilidad o susceptibilidad del suelo por erosión hídrica. La erodabilidad del suelo o factor K, es una descripción cuantitativa que indica la susceptibilidad del suelo a ser erosionado, es considerado como el factor más importante para la predicción de la erosión hídrica y refleja el hecho de que diferentes suelos se erosionan a diferentes tasas cuando los demás factores que afectan la erosión son los mismos.

Se seleccionó el Centro Experimental Agrícola (CEA-UNI) ubicado en el departamento de Masaya, ya que cuenta con información actualizada de suelos y uso de la tierra con su base de datos en formato digital, lo que facilitó llevar a cabo la investigación de determinación de las pérdidas de suelo o erosión potencial en el sitio.

IV. OBJETIVOS

4.1. Objetivo general

Estimar el factor de erodabilidad K del suelo en el Centro Experimental Agrícola para los meses Mayo y Junio del año 2016, a través de distintas metodologías (parcela experimentales de escorrentía, nomograma valor del factor k).

4.2. Objetivos específicos

- 1) Determinar las propiedades físicas del suelo en la parcela demostrativa a través de ensayos en laboratorio.
- 2) Estimar los factores que componen la ecuación USLE para la obtención de K de acuerdo a las características propias del lugar.
- 3) Analizar la influencia del factor K en las pérdidas de suelo utilizando las parcelas demostrativas.
- 4) Realizar comparación de pérdida de suelos, utilizando el simulador de lluvia portátil y las parcelas demostrativas.

V. MARCO TEÓRICO

5.1. Degradación de los suelos por erosión

La erosión es la acción de desgaste de la superficie terrestre por agentes externos. En términos generales, supone la remoción de la capa más superficial del suelo, sea cual sea el agente responsable: viento, agua, actuaciones humanas. Durante millones de años han actuado los procesos de erosión formando parte de la dinámica natural del medio exógeno terrestre y estableciendo uno de los procesos más importantes responsables del cambio en el modelo de la superficie de la tierra a lo largo de la historia litológica.

Sin embargo, este proceso natural, se ve altamente incrementado en aquellas zonas donde las actividades humanas han alterado el equilibrio de los factores naturales, dejando el suelo desprotegido de la cubierta vegetal, compactando la superficie, alterando el flujo del agua de escorrentia, etc. Por eso muchos autores distinguen entre erosión geológica y erosión antrópica o acelerada, este último refiriéndose a la intensificación de los procesos de erosión por consecuencia de la actividad humana.

En consecuencia, la gestión de territorio desde una perspectiva conservacionista debe asumir el objetivo de mantener, de forma indefinida, el potencial productivo de los suelos y con ello, asegurar la sostenibilidad de las explotaciones agroforestales (Wischmeier & Smith, 1978; FAO, 1983). Con tal fin, es necesario conocer los límites tolerables de pérdida de suelo que no supongan degradación progresiva de este; es decir, cuando la tasa de pérdida de suelo no sea superior a la de su regeneración.

De forma generalizada, se considera la cantidad de 11.2 Mg ha⁻¹ como el límite máximo de tolerancia de erosión anual según Schmidt et al; (1982) y FAO (1988).

Esta cantidad corresponde a una capa de suelo de 1 mm de espesor que sea removida uniformemente de la superficie, tomando un valor máximo de densidad aparente 1.12 gr cm^3 . No obstante dicho límite de tolerancia de pérdida de suelo varía de manera importante para los distintos tipos de suelos, en función de su estado de conservación, profundidad y propiedades físicas y químicas.

El Servicio de Conservación de Suelos de EEUU (1973), citado en McCormack *et al*; (1982) adoptó para la evaluación de las distintas alternativas de manejo los valores máximos de tolerancia de pérdida de suelo. Estos varían en función de la profundidad efectiva del suelo entre $11.2 \text{ Mg ha}^{-1} \text{ año}^{-1}$ (suelos con profundidad efectiva superior a 150 cm) y $2.2 \text{ Mg ha}^{-1} \text{ año}^{-1}$ (profundidades inferior a 25 cm). Además, la tolerancia disminuye cuando el substrato sobre el que se desarrolla el suelo resulta desfavorable para la regeneración de éste, incluso aún cuando se apliquen prácticas de manejo tales como enmiendas orgánicas o aportes de fertilizantes químicos.

Smith y Stamey (1965) proponen un límite T de $5 \text{ Mg ha}^{-1} \text{ año}^{-1}$ en zonas como la mediterránea, basados en consideraciones agronómicas donde el suelo presenta un escaso desarrollo; Hudson (1971) recomienda que en suelos superficiales o altamente erosionables se debe asumir como tasa máxima $2 \text{ Mg ha}^{-1} \text{ año}^{-1}$; y Schertz (1983) considera que, cuando el suelo supera los 2 m de profundidad, es muy poco probable que, como consecuencia de la erosión, el subsuelo, capaz de influir en la productividad de las cosechas se vea afectado en un periodo superior a 50 años, por lo que incrementa el valor de T hasta $20 \text{ Mg ha}^{-1} \text{ año}^{-1}$.

5.2. Erosión hídrica en campos agrícolas

La agricultura ha sido la actividad humana que mayor incidencia ha tenido sobre el suelo a lo largo de la historia. Propició desde sus inicios suelos poco protegidos por la vegetación, recurrentemente labrados y sobre los que se aplicaban

incendios controlados para eliminar la vegetación natural (Cerdà, 2008), y más tarde, el desarrollo de sistemas de laboreo mediante tracción animal y la mecanización generalizada del siglo XX permitió aumentar la productividad de los suelos agrícolas, pero también incrementó los riesgos de degradación y erosión. Es un hecho comprobado a nivel mundial que las tasas de erosión más elevadas coinciden con la modernización de las prácticas agrícolas (proyecto LUCINDA - *LandCare In Desertification affecter areas*-, 2008).

Sin embargo, la importancia de conservar un suelo de buena calidad es particularmente patente en los sistemas agrícolas, donde la productividad va a depender, en buena medida, del estado de conservación del suelo.

Como resultado de los procesos erosivos, el suelo manifiesta un descenso neto de su fertilidad natural y productividad biológica. La erosión produce la reducción del espesor efectivo del perfil edáfico y, por tanto, del volumen de suelo explotable por la vegetación o el cultivo. Dado que la pérdida de material afecta fundamentalmente a las capas superficiales del suelo, en las que reside la mayor fertilidad, su pérdida supone una merma significativa de los contenidos de nutrientes y materia orgánica. Así mismo, son las partículas más finas las que se arrastran con mayor facilidad, siendo estas las que absorben y retienen más nutrientes (Boulaine, 1981).

Por otro lado, la acción de los agentes erosivos provoca una degradación progresiva de la estructura física del suelo lo que, a su vez, aumenta la vulnerabilidad de éste a ser degradado y afecta al resto de funciones del suelo. Por todo lo anterior, el suelo manifiesta una disminución progresiva en su capacidad de retención de agua y nutrientes disponibles para las plantas, lo que repercute en una reducción drástica de su fertilidad.

El resultado es una pérdida de productividad que, en principio, limita las especies que pueden cultivarse y obliga a un aumento de los fertilizantes a aplicar para

mantener los rendimientos de las cosechas y la producción de alimentos y, finalmente, lleva a la devaluación y en muchas ocasiones al abandono de la tierra (Morgan, 1986). Faeth y Crosson (1994) estimaron que cada año se abandonan en el mundo 10 millones de hectáreas de tierras cultivables debido a la falta de productividad causada por los procesos de erosión y en la segunda mitad del siglo XX, cerca de un tercio de los suelos agrícolas de la Tierra dejaron de ser productivos para usos agrícolas (Pimentel *et al.*, 1995).

Está ampliamente aceptado que la erosión del suelo es mayor en tierras agrícolas que en bosques, matorrales o praderas (Boardman *et al.*, 1990, proyecto LUCINDA, 2008; proyecto SOCO –*Sustainable Agriculture and Soil Conservation*-, 2009). A nivel mundial, más del 75% de los suelos cultivados del mundo se han visto afectados o degradados por los procesos erosivos (proyecto LUCINDA, 2008).

No obstante, la definición del término pérdida tolerable de suelo y el establecimiento de la tasa máximas tolerables (T) resultan complejos y han sido objeto de controversia, pasando por enfoques centrados en aspectos agronómicos (productividad, calidad del suelo), geológicos (tasa de formación de suelo, tasa de meteorización) y socio-económicos (daños a infraestructuras, contaminación de aguas) (Alcazar, 2013).

5.3. Estudio de la erosión hídrica en Nicaragua

El país de Nicaragua, presenta unas condiciones naturales y culturales que favorecen la erosión de los suelos. El clima, con largos periodos de sequía seguidos de lluvias torrenciales (inundaciones que afecta principalmente el atlántico), los suelos frágiles, con débil estructura y bajo contenido en materia orgánica, y las escasa cobertura vegetal que presentan extensas áreas con algunas de las características que potencian suelos degradados y erosionados, sin olvidar la larga historia de ocupación del territorio de la región que los ha sometido

a una fuerte presión antrópica. Así, la erosión del suelo representa en la mayor parte del territorio nicaragüense una seria amenaza para la sostenibilidad de los agro ecosistemas y el sistema socio-económico (INETER; INIDE, 2012).

En Nicaragua, la importancia del impacto de los procesos erosivos en el medio agrícola queda de manifiesto si se tiene en cuenta que las tierras de cultivo ocupan un poco más del 50% de su extensión territorial con sobreutilización o subutilización de los recursos de suelos y aguas (MAGFOR; INETER, 2010).

La sobreutilización de la tierra, significa que el uso que se le está dando actualmente, sobre pasa las capacidades de uso de la misma, lo que trae consigo la degradación de los recursos naturales y la insostenibilidad de la producción agropecuaria y forestal a mediano y a largo plazo.

En Nicaragua, destaca el trabajo realizado por el PASOLAC en San Ramon, Matagalpa con productores de la zona, donde se determinó la perdida de suelos por erosión hídrica. Los resultados mas obvios como son las perdidas de suelo alcanzaron en los sitios mas afectados hasta 88 Toneladas metricas. Asi mismo fueron evidentes cambios en las características del suelo como porcentaje de materia orgánica lo cual tiene influencia directa en la resistencia de suelo a la erosión y en la productividad del mismo. (UNA; PASOLAC, 2005)

5.4. Conservación de suelos frente a la política ambiental de Nicaragua

Dado que los diferentes reglamentos nicaragüenses de la Política y Plan Ambiental de Nicaragua y las Normas Juridicas de Nicaragua relacionadas con la agricultura y la conservación del suelo en materia de Medio Ambiente, se establece el reglamento de la Ley ley No. 217. General del Medio Ambiente y los Recursos Naturales.

En uso de las Facultades que le confiere la constitucion politica, dicta el decreto No. 9-96, aprobado el 25 de julio de 1996 y publicado en la gaceta No. 163 del 29 de agosto de 1996.

El presente decreto establece las normas reglamentarias para la gestion ambiental y uso sostenible de los recursos naturales con recuadro de la ley No. 217. Ley General del Medio Ambiente y los Recursos Natulrales.

En el artículo 3 al 6 de la Ley General del Medio Ambiente y los Recursos Naturales establece al Ministerio del Ambiente y Recursos Naturales (MARENA) como única autoridad nacional en materia de sancion administrativa por incumplimiento de las normas (en coordinacion armónica con otros organismos estatales y autoridades regionales y municipales) , regulación, nominacion, monitoreo control de la calidad ambiental del uso sostenible de los recursos naturales y el manejo ambiental de los no renovables.

El decreto 9-96, en el marco de la ley No. 217, tienen como objetivos especificos en los articulos 7 al 11, promover el uso sotenible de los recursos naturales y la buena calidad del ambiente, impulsar soluciones posibles específicas por medio de foros, teniendo como órganos de apoyo técnico las distintas comisiones relacionadas con el medio ambiente y los recursos naturales en base a planes anuales.

En el articulo 55 de la ley No.217 del decreto 9-96 obliga a propietarios, tenedores o usuarios de terrenos con pendientes de 35% o superiores a 35% deberan usar tecnologias apropiadas que conserven y protejan las

características físicas, biológicas o químicas de los suelos promoviendo la fertilidad de los suelos manteniendo cobertura vegetal en el suelo.

En el artículo 56 al 59 de la ley No.217 dicta que el Ministerio de Agricultura y Ganadería, en coordinación con el Ministerio del Medio Ambiente y los Recursos Naturales y los consejos municipales y regiones autónomas respectivas son los encargados de declarar las áreas de conservación de suelo que se encuentran en estado severo de degradación por un uso inapropiado y/o manejo inadecuado analizada por el Ministerio de Agricultura y Ganadería mediante un estudio de campo que defina el nivel de degradación de los suelos por medio de instrumentos que se definen en las normas técnicas nicaragüenses en su defecto.

De la ley No.217, el artículo 108 al 110 dictan que el MARENA es el encargado de sancionar con infracciones con multa económica si es falta leve o grave, las faltas muy graves serán sancionadas con suspensión temporal o suspensión de los permisos para la realización de la actividad. También podrá aplicarse suspensión parcial, total o definitiva de actividades o clausura de instalaciones dependiendo de la gravedad del daño ocasionado.

La integridad del recurso suelo es fundamental para sostener la Producción Agropecuaria y Forestal Nacional, así como para evitar desastres ecológicos de diverso orden, y que la erosión en todas sus manifestaciones es el fenómeno principal que está destruyendo nuestro suelo y su potencial productivo.

En contexto, el cambio hacia el desarrollo sustentable debe estar dirigido por una política ambiental clara y eficiente, que permita integrar aspectos económicos, sociales y ambientales y que asuma como principio básico la

responsabilidad y el costo de un aprovechamiento racional de los recursos naturales (suelo y agua).

5.5. Ecuación universal de pérdida de suelo

5.5.1 La ecuación universal de pérdida de suelo (E.U.P.S. o por sus siglas en ingles U.S.L.E.)

El suelo es la capa más fina y fértil que constituye la capa terrestre, por lo que las condiciones físicas de los suelos determinan su susceptibilidad a la erosión. El hombre puede disminuir esta susceptibilidad a través de prácticas adecuadas al manejo del suelo (FAO-MAG, 1996). Según Wischmeier y Mannering (1969), se han identificado 24 características del factor suelo de acuerdo a contenido, que pueden influir o no en la erosión. Dentro de las características más conocidas están el contenido de arcilla, materia orgánica y arena, así como la estructura, el espesor, la permeabilidad y la infiltración.

La ecuación universal de pérdida de suelo (E.U.P.S. o por sus siglas en ingles U.S.L.E.) es el método o modelo más amplio diseñado para la predicción de pérdida de suelo de un campo de cultivo y de sistemas de manejo específico (Wischmeier y Smith, 1978). Dicha fórmula ha sido utilizada en muchos países tropicales con resultados que sobre estiman los niveles de erosión cuando se comparan con parcelas de escorrentía u otros métodos (Bacchi *et al*, 2000).

Ante esta diferencia se han realizado estudios para cada factor de la ecuación. Inclusive se plantea la RUSLE (Revised Universal Soil Equation) como una modificación de los factores de la USLE (Renard *et al*. 1996). Algunos autores consideran que la aplicación tanto de la USLE como la RUSLE en áreas fuera del rango donde fueron calibradas, requiere de un ajuste a los factores con diferentes formas de estimarlos (Moore y Burch, 1996).

La USLE es un modelo matemático de tipo paramétrico que integra variables reconocidas como de singular significación en el fenómeno de la erosión hídrica. La fórmula universal de pérdida de suelo planteada por Wischmeier & Smith en 1978 y revisada por Nearing la cual está planteada de la siguiente manera:

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

Donde:

A: Pérdida de suelo estimada como promedio anual.

R: Factor de erosividad.

K: Factor de erodabilidad de suelo.

L y S: Longitud y pendiente.

C: Factor cultivo.

P: Prácticas de manejo.

Unidades de medidas de los factores de la EUPS

Tabla 1 unidades de medidas de los factores de la EUPS

| Factor | Sistema americano | Sistema métrico | Sistema internacional |
|--------|--------------------------|---|-----------------------|
| A | Ton cortas/acre año | Kg/m ² año Ton métricas/ha año | Ton métrica/ha año |
| R | Pies-ton pulg/acre h año | Joules mm/m ² h año Kg-m mm/ha h año Ton-m mm/ha h año | MJ mm /ha h año |
| K | Ton cortas año/acre | Kg/m ² /año | Ton-m año/ha |
| LS | Sin unidades. | | |
| C | | | |
| P | | | |

Fuente: Wischmeier y Smith 1978

La ecuación (R*K*L*S*C*P), se llamó "universal" porque estaba exenta de algunas de las generalidades y restricciones geográficas y climáticas inherentes en los primeros modelos.

La E.U.P.S. se desarrolló como un método para predecir la pérdida promedio anual de suelo procedente de la erosión en interarroyuelos y arroyuelos al poder disponer de los valores de los parámetros, las alternativas de cultivo y manejo de cultivo pueden determinarse para reducir la pérdida de suelo estimada a los valores de tolerancia sugeridos para el tipo de suelo. Wischmeier (1976), sugiere que la E.U.P.S puede utilizarse para:

- Predecir la pérdida de suelo anual de una pendiente en un campo con condiciones específicas de uso de la tierra.
- Servir como guía en la selección de sistemas de cultivo, manejo y prácticas de conservación para los suelos en pendientes específicas.
- Predecir el cambio de la pérdida de suelo que resultaría de un cambio en las cosechas de conservación sobre un campo específico.
- Determinar cómo pueden alterarse o aplicarse las prácticas de conservación para permitir un cultivo más intensivo.
- Estimar las pérdidas de suelos en áreas con usos distintos al agrícola.
- Obtener estimaciones de pérdidas de suelo para que los conservacionistas determinen las necesidades de conservación (Kirby & Morgan, 1991).

5.5.2 Tamaño de las parcelas

Los objetivos del estudio condicionan el tamaño de las parcelas experimentales a utilizar, ya que los distintos procesos erosivos ocurren a diferentes escalas espaciales (Lal, 1990). Por otro lado la elección del tamaño de la parcela depende de los recursos financieros del investigador de manera que se asegure el funcionamiento de la instalación.

Existe una gama de tamaños, que puede agruparse de forma general en tres grupos dependiendo de los objetivos a establecidos: microparcels (superficies

inferior a 10m²), adecuadas para la investigación detallada de aspectos básicos de los procesos erosivos, parcelas de tamaño medio (superficie menor de 200 m²), estas parcelas son las utilizadas para estimar la calibración de la ecuación de pérdidas de suelo (USLE, Wischmeier y Smith, 1978), parcelas de gran tamaño (superficies mayor de 200 m²).

Esta ecuación se desarrolló con datos de más de cuarenta años que se obtuvieron en parcelas pequeñas, localizadas en varios lugares de E.E.U.U.; a pesar de la simplificación de las variables implicadas, la E.U.P.S. es el método más aceptable para estimar las pérdidas de sedimentos (Schawb *et al.*,1990).

5.6. Factores para estimar la pérdida de suelo

5.6.1 Factor de erosividad R

La erosividad de la lluvia se define como su capacidad para producir erosión. Fue definida originalmente por Wischmeier en 1959 y combina los efectos del impacto de la gota de agua sobre el suelo y los del flujo superficial o escorrentía en su transporte. A su vez, la capacidad erosiva del impacto de las gotas de lluvia depende de su carga de energía, que es función de la distribución de tamaños de gota y de la velocidad con la que impactan sobre el suelo (Hudson, 1971).

R es el factor que representa a la variable lluvia. Representa el Índice de erosividad o la capacidad erosiva de la lluvia. Es el producto de la energía cinética y su máxima intensidad en 30 minutos (I₃₀) (definido de esta manera por Wischmeier, 1956).

$$R = \frac{\sum_{i=1}^j (EI_{30})_i}{N}$$

Donde (EI_{30}) es la erosividad de un episodio de lluvia i en $MJ\ mm\ ha^{-1}\ h^{-1}$, j es el número de episodios erosivos y N el número de años estudiados, cuando N es igual a 1 el valor que se obtiene es el factor para un año concreto.

a) Índices de erosividad

La cuantificación de la agresividad de la lluvia mediante un parámetro o índice constituye un problema que ha sido abordado durante años por los científicos que investigan los procesos de erosión del suelo asociados a las precipitaciones. Aunque existen numerosas aproximaciones con buenos resultados, la validez universal de éstas no parece asegurada, existiendo en la bibliografía conclusiones a favor y en contra. Por ello, la aplicación indiscriminada de índices y cálculos fuera de las condiciones originales de su formulación debe ser realizada con cautela (González Hidalgo, 1996).

El factor R , representa el factor más complicado de obtener y su estimación va a depender de la pericia y experiencia del investigador y muy importante de la información de los datos para su cálculo.

Su aplicación directa puede llevar a estimaciones exageradas de la erosión si no se considera las condiciones de humedad antecedente del evento en consideración. En el caso de planificación, habría que estimar la humedad antecedente y determinar un coeficiente de reducción de R . Esto no está previsto dentro de la ecuación, por lo tanto la erosión estimada se refiere a la erosión potencial.

5.6.2 Factor R por Fournier

Cuando no existen más información de R en una localidad determinada se puede utilizar la ecuación del índice de Fournier, El valor obtenido de este procedimiento

está bajo unidades del sistema americano por lo que tuvo que multiplicarse para utilidad del sistema internacional por 17.02.

$$Ri = \frac{P_i^2}{P} * 17.02$$

Donde;

Ri: factor de erosividad mensual.

Pi: precipitación promedio mensual (mm).

P: precipitación promedio anual (mm).

5.6.3 Factor de erodabilidad K

El factor K o la erodabilidad expresa la vulnerabilidad cuantitativa por erosión hídrica de un suelo. De acuerdo a Wischmeier & Smith (1978). Este factor refleja el hecho de que diferentes suelos se erosionan a diferentes tasas cuando los demás factores que afectan la erosión son los mismos, las propiedades que poseen una influencia importante en la disposición erosiva de un suelo son:

- ❖ El contenido [%] limo + arena muy fina (0.002-0.1mm).
- ❖ El contenido [%] de arena + arena fina (0.1-2mm).
- ❖ El contenido de materia orgánica [%].
- ❖ La clase de agregación.
- ❖ La permeabilidad.
- ❖ Dispersión, abrasión y fuerzas de transporte.

Su cálculo se realizó a partir de la E.U.P.S, con la siguiente formula.

$$K = \frac{A}{RLSCP} \quad (\text{t/ha. año/MJmm/ha. hr})$$

También se calculará con el nomograma de erodabilidad de Wischmeier (ver anexo 1).

5.6.4 Factores de longitud de pendiente L y factor de gradiente de pendiente S

Estos factores representan una gradiente pendiente (S) como el largo de la pendiente (L). El propósito central de estos cálculos consta en incluir como factor topográfico único en el modelo de pérdida de suelo. La longitud de la pendiente se define como la distancia desde el punto del origen hasta el punto donde la pendiente disminuye lo suficiente como para que ocurra la deposición de sedimentos o hasta el punto en que la escorrentía entra en un canal definido. El gradiente de la pendiente es el segmento de la pendiente, expresado generalmente en porcentaje. El desarrollo de la E.U.P.S. se basó en la longitud de una parcela estándar de 22.13 metros (Wischmeier & Smith, 1996); por tanto el factor de longitud de la pendiente se definió como:

$$L = \left(\frac{X}{22.13}\right)^m$$

Donde:

L= factor de longitud de pendiente.

X= longitud de la pendiente, en metros.

m= exponente que refleja el grado entre la pendiente y el grado de erosión.

Las recomendaciones actuales al exponente m desarrollado por Wischmeier y Smith (1978) son:

m: 0.6 si la pendiente > 10 por ciento y < 50 por ciento.

m: 0.5 si la pendiente \geq 5 por ciento y \leq 10 por ciento.

m: 0.4 si la pendiente <5 por ciento y > 3 por ciento.

m: 0.3 si la pendiente \leq 3 por ciento y \geq 1 por ciento.

m: 0.2 si la pendiente < 1 por ciento.

El factor gradiente de la pendiente (S), se determina mediante la fórmula:

$$S = 0.065 + 0.045P + 0.0065P^2$$

Donde:

P = caída vertical por 100 unidades (%). (Kirby y Morgan, 1991).

5.6.5 Factor de cobertura vegetal C

Al analizar la influencia de la cubierta vegetal sobre la erosión del suelo, todos los estudios parecen coincidir en que es éste el factor fundamental a modificar si se pretende conseguir una eficaz protección contra los procesos erosivos (Moreira 1991).

5.6.6 Factor de prácticas de conservación P

El factor P de prácticas de control de erosión de suelos incluye modalidades como el cultivo a nivel o el cultivo en fajas. Cuando no existen o no es posible determinar el conocimiento de estas prácticas de control de la erosión ni de manejo de las actividades productivas, el factor P se considera 1. En la mayoría de las investigaciones acerca sobre la pérdida de suelo por medio de la USLE se ha observado que el Factor P es constante al valor de 1, lo que quiere decir que las prácticas de conservación se han estado perdiendo para estas investigaciones.

5.7 Tolerancia de pérdida de suelo

Schertz (1963), cita el origen del valor de la tolerancia asignados a los suelos de los Estados Unidos de América, en 12ton/ha/año, proviene de un suelo profundo, de textura media, moderadamente permeable y con características del subsuelo favorables para el desarrollo de las plantas, puede tener una tasa de renovación del horizonte superficial de 1mm/año, para un valor de densidad aparente de 1.2 gr/cc.

El producto de la lámina de suelo perdida (0.001m/año), por los metros que tiene una hectárea (10,000 m²) daría el volumen de suelo perdido (10m³), el cual al

multiplicarlo por la densidad aparente (1.2 t/m³) daría el valor de tolerancia de 12 ton/ha/año.

Mannering (1981), desarrolla una tabla (ver tabla 2), para representar los niveles de tolerancia de pérdida de suelo, según la profundidad del suelo sin restricciones al desarrollo radicular.

Tabla 2. Tolerancia de pérdida de suelo en su profundidad.

| Profundidad del suelo. (cm) | Tolerancia (ton/ha/año) |
|-----------------------------|-------------------------|
| 00 - 25 | 0 - 4 |
| 25 - 50 | 4 - 8 |
| 50 - 100 | 8 - 12 |
| 100 - 150 | 12 - 16 |
| 150 - 200 | 16 - 20 |
| >250 | >20 |

Fuente: FAO (1973). Mannering, 1981.

La FAO ha tomado en cuenta la falta de técnicas y tecnologías que permitieran los efectos de varios tipos de degradación de los suelos y sabiendo que no es posible su comparación directa desarrolló la siguiente clasificación. (Ver tabla 3).

Tabla 3. Categorías de pérdida de suelo.

| Categoría | Pérdida de suelo | |
|------------------|------------------|------------|
| | ton/ha/año | mm/ha |
| Ninguna a ligera | <10 | <0.6 |
| Moderada | 10 - 50 | 0.6 - 3.3 |
| Alta | 50 - 200 | 3.3 - 13.3 |
| Muy alta | >200 | >13.3 |

Fuente: FAO, 1980.

5.8 Simulador de lluvia portátil

El área útil que ocupa el simulador es en microparcels, tipo de parcelas de tamaño pequeño (<10m²), este dispositivo es adecuado para la investigación detallada de aspectos básicos de los procesos erosivos (Morgan, 1996), entre ellos: erosión por impacto de las gotas de lluvia, transporte de partículas de suelo, formación de costras y láminas de selladura superficial, estabilidad estructural de los suelos y cuantificación de procesos en términos relativos (cuantificación de la

infiltración, escorrentía y erosión de suelos), mediante la comparación de los resultados en otros grupos de parcelas de más tamaño.

5.8.1 Definición

Los simuladores de lluvias son instrumentos de investigación diseñados para aplicar agua de forma similar casi o próximas a los episodios de las lluvias naturales bajo condiciones controladas. Son útiles para obtener datos de erosión, infiltración, escorrentía superficial y transporte de sedimentos. No obstante, las características de la lluvia natural han de ser simuladas de forma adecuada (Roberto Monge, José Aguilar; 2008).

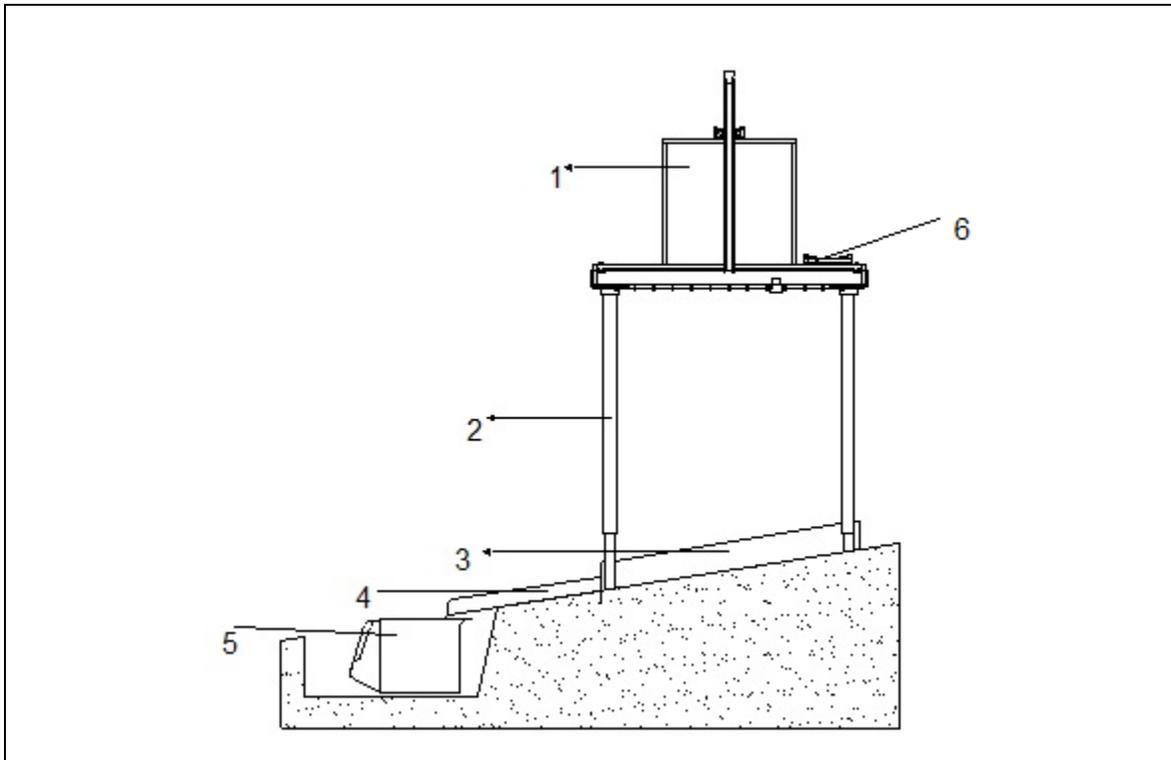
En Nicaragua existen pocas experiencias en simuladores de lluvia portátil para el estudio de la erosión hídrica, aunque el término portátil es apariencia cuando mencionamos simuladores de lluvia que son estimulados por bomba de agua, ya que para la utilización de este dispositivo es muy necesaria una fuente de corriente eléctrica para el funcionamiento de la bomba sin olvidar que hay que trasportar el agua hasta el punto de la simulación.

El principal principio del simulador de lluvia portátil es la eliminación de la bomba, además que al utilizar bomba de agua, el resultado era que solamente trabajaba bajo una misma presión. Esto se logró con la iniciativa del principio del frasco de Mariotte, que consiste en liberar líquido con tiempo controlado siempre y cuando el recipiente sellado sea atravesado por un tubo abierto en ambos extremos (uno de los extremos sumergido en el líquido) al aplicar la fórmula de Bernouilly y según la ley de Torricelly manteniendo una velocidad de salida del líquido, esta velocidad será constante siempre que el nivel del líquido en el frasco esté por encima del extremo inferior del tubo. El gasto o volumen del líquido es proporcional a la velocidad, por lo que también resulta ser constante.

5.8.2 Partes y accesorios del simulador de lluvia portátil

El simulador está compuesto por varias partes y accesorios. Estos últimos son el soporte para que las partes principales se ajusten para la realización de la prueba, (ver figura 1) obteniendo resultados deseados de la simulación.

Figura 1: Partes del simulador de lluvia portátil.



Fuente: Roberto Monge J, José Aguilar P., 2008

1. Una regadera con un tubo hueco que atraviesa la regadera transversalmente al que llamamos regulador de presión (utilizando el Principio de la botella de Mariotte).
2. Un soporte ajustable de metal para la regadera.
3. Un esqueleto (3 reglas individuales) de acrílico para el terreno, el cual es puesto sobre el suelo y previene los movimientos laterales del agua que van del área de prueba a los alrededores.

4. Un canal de Zinc liso puesto al pie del soporte metálico que transporta los sedimentos y la escorrentía a un depósito.
5. Un depósito recolector de muestras colocado después del canal al pie del soporte ajustable.
6. Dos niveletas horizontales para ajustar el soporte para que la regadera permanezca totalmente horizontal.

5.8.3 Especificaciones técnicas del simulador de lluvia portátil

Las especificaciones del simulador son:

1. La regadera está formada por dos prismas, uno cuadrado en la parte inferior de 42 cm x 42 cm x 2.5 cm y el superior es cilíndrica con una altura de 25 cm con diámetro de 20 cm con un volumen total de 12.26 litros de agua (volumen efectivo) para realizar las simulaciones, con un volumen de 6 litros de agua aproximadamente para la mayor intensidad y de 10.6 litros para la menor intensidad de lluvia simulada, con área de prueba de 0.1600 m².
2. Cuenta con un total de 169 capilares, cada uno con un largo de 5 milímetros aproximadamente, y un diámetro de 0.8 mm y diámetro externo de 2.5 mm, los capilares producen gotas de 4 mm aproximadamente con una masa de 0.051 gramos por gota.
3. Según la cantidad de capilares, el diámetro de la gota y la posición del tubo de aireación, se producen lluvias simuladas con diferentes intensidades que van desde 13.14 mm/min la más alta y 3.59 mm/min la más baja (datos obtenidos en laboratorio en el diseño del simulador de lluvia portátil), en laboratorio se pueden calcular otras intensidades intermedias, previa a la simulación en campo. La magnitud de la lluvia simulada está en función de la intensidad de lluvia que se calibre y duración de la simulación.
4. La calibración de la lluvia simulada se debe hacer a una altura conocida. Por medio de este dato se puede obtener la energía cinética total de la lluvia dependiendo de la magnitud de la lluvia.

5. Las reglas acrílicas, las cuales se colocan sobre el terreno permitiendo delimitar el área de superficie y evitar que aguas externas a la simulación entren al área de estudio o para que el agua de lluvia simulada no salga del área de prueba y así poder contabilizar mejor el agua infiltrada y el agua escurrida.
6. El simulador de lluvia puede ser utilizado en pendientes de 0% hasta 60% como máximo.

5.8.4 Aplicaciones del simulador portátil

El simulador tiene una gran variedad de aplicaciones, este puede ser utilizado para: evaluar la protección relativa que proporcionan diferentes densidades de plantas en los suelos, medir la erosión del suelo según los diferentes momentos durante el desarrollo de un cultivo, determinar escorrentía y erosión en lomos de surcos en cultivos limpios para diferentes tipos de suelos, propiciar estudios sobre percolación de nutrientes en los suelos, obtener curvas de infiltración específicas para diferentes tipos de suelos, medir el efecto de las prácticas de conservación para la mitigación de la erosión del suelo (Roberto Monge, José Aguilar; 2008).

Las posibilidades de uso del equipo están limitadas por la creatividad del investigador. El simulador de lluvia puede ser usado tanto en el campo como en laboratorio y el resultado obtenido permite comparar diferentes tipos de suelo y superficies en cuanto a su potencial de erodabilidad y escorrentía (como porcentaje total de lluvia simulada).

VI. HIPOTESIS

6.1. Hipótesis de Investigación

La erodabilidad (factor K) de los suelos en el Centro Experimental Agrícola produce una erosión hídrica menor de 10 Ton/ (ha-año).

6.2. Hipótesis Alternativa

La erodabilidad (factor K) de los suelos en el Centro Experimental Agrícola produce una erosión hídrica mayor de 10 Ton/ (ha-año).

6.3. Hipótesis Nula

La erodabilidad (factor K), no muestra ninguna reacción de erosión ante los suelos del Centro Experimental Agrícola.

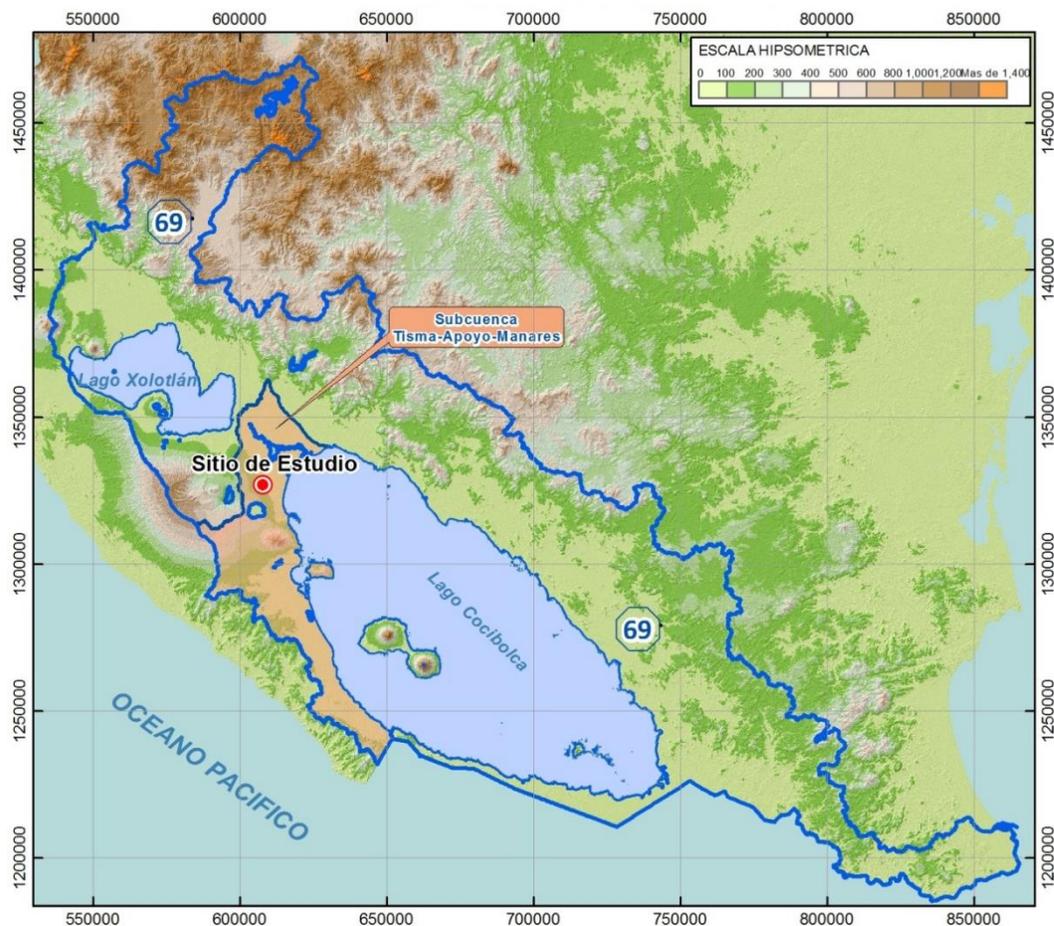
VII. MATERIALES Y MÉTODOS

7.1. Localización y características del área de estudio

7.1.1 Macrolocalización

El área de estudio se sitúa en la región del pacifico de Nicaragua, en el departamento de Masaya, municipio Tisma, comarca La Bolsa (figura 2.), en concreto, el campo experimental sobre erosión de suelo está instalado en el Centro Experimental Agrícola perteneciente a la Universidad Nacional de Ingeniería (CEA-UNI), cuenta con una extensión territorial aproximada de 48 manzanas. El sitio de estudio se encuentra entre las coordenadas N12°00'5.33'' W85°59'90.8'' y altitud a 210 msnm.

Figura 2: Macro localización. Departamento de Masaya

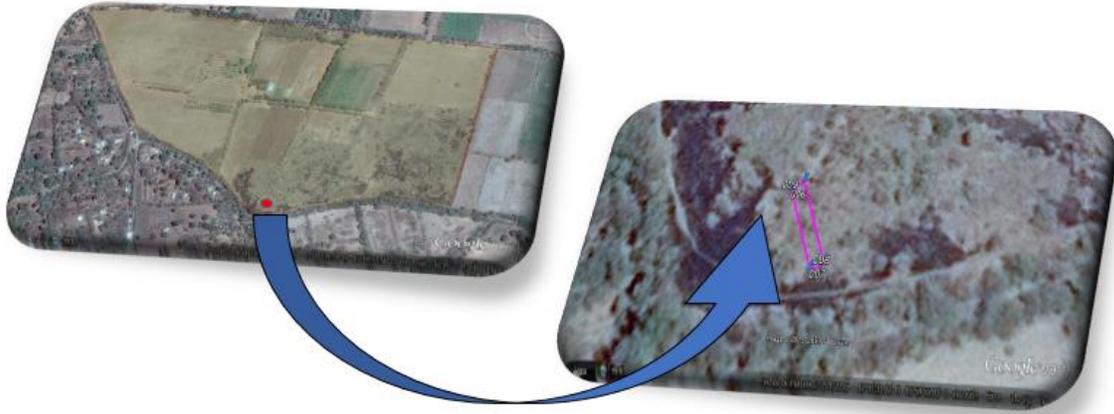


Fuente: INETER.

7.1.2 Microlocalización

Figura 3: Micro localización. Centro Experimental Agrícola. CEA-UNI.

Departamento de Masaya Municipio de Tisma, Comarca La Bolsa.



Fuente: Elaboración propia.

En cuanto a la metodología utilizada, se consideró lo siguiente: recopilación de información, trabajo de campo realizado en la zona de estudio y el análisis de los resultados.

7.1.3 Recopilación de información

Esta fase consistió en la recolección, revisión, selección e interpretación de datos existentes y mapas (uso actual de la tierra, mapas geográficos y geológicos), así como la búsqueda de información de las diferentes instituciones a consultar para este estudio.

Se seleccionó la estación meteorológica más cercana a la zona de estudio del Centro Experimental Agrícola CEA-UNI ubicado en Masaya, tabulando principalmente los datos medios de precipitación, evaporación de pana tipo "A", humedad relativa, velocidad media del viento e insolación. Estos datos se tomaron

de la estación de Masaya ubicada en la Laguna oxidación, por ser la más representativa del área.

7.1.4 Trabajo de campo

Este comprende las actividades que se llevaron a cabo en el área de estudio para conocer el comportamiento de los efectos erosivos en el suelo superficial. Para esta actividad se programaron giras de campo en las que se realizaron extracción de muestras de suelo alteradas e inalteradas para el análisis de suelo en el laboratorio de edafología de la FTC, para conocer las propiedades hidrofísicas y químicas del suelo de la parcela de investigación de erosión.

7.1.5 Aspectos socio-económico

Las actividades predominantes de las comarcas se encuentran en los alrededores de nuestro sitio de estudio son la agricultura, la ganadería y la pequeña industria (zapatería, artesanías, etc). Analizando el movimiento económico, el mayor medio de subsistencia es la agricultura. Sus cultivos tradicionales son el frijol, la yuca, el maíz y el sorgo en todas sus variedades, otros de ciclo perenne. La producción de estos cultivos se comercializa en los mercados locales; en el caso del maíz y el sorgo se aprovecha el desecho vegetal utilizándolo como forraje para el ganado.

Algunas de estas comarcas tienen abastecimiento de agua potable, otros se abastecen de pozos construidos por el aporte de organismos no gubernamentales y otros con pozos elaborados por la comunidades de Tisma construidos artesanalmente (Sin maquinaria).

7.2. Características del medio físico del CEA-UNI

7.2.1. Características de los suelos en el CEA-UNI

Las parcelas de investigación tipo USLE se instalaron en la comarca La Bolsa, predominan terrenos planos con pendientes de 0 % – 1.2 %. Los suelos del CEA pertenecientes a esta comarca presentan una textura que varía de Franco a Franco – Arcillosa, son suelos que alcanzan profundidades superficiales de 30 cm; según su pH es un suelo que va de ligeramente ácido a neutro, sus nutrientes presentan un porcentaje alto a excepción del nitrógeno pudiéndose corregir esto si se practica la rotación de cultivos que fijen el nitrógeno como por ejemplo la siembra del frijol.

7.2.2. Uso actual del suelo y vegetación

El CEA es utilizado para la realización de prácticas de campo e investigaciones monográficas por estudiantes de la carrera de ingeniería agrícola de la Facultad de Tecnología de la Construcción de la UNI, es posible percibir la producción de diversos cultivos tradicionales y no tradicionales como; sorgo, maíz, chiltoma, sandía, papaya, pepino, pipián, ayote, además cultivos perennes como aguacate, plátanos, limón, etc., para el desarrollo sostenible de la misma. El CEA posee suelos de textura franco arcilloso, terrenos casi planos (poca pendiente), pero no es posible condicionar toda el área del CEA para su explotación agrícola dejando áreas descubiertas no cultivadas debido a depresiones en áreas localizadas quedando susceptibles a ser erosionado.

7.2.3. Cultivo utilizado en el ensayo

El cultivo del maíz (*Zea Mays*); miembro de la familia gramínea (*Poacea*), originario del continente americano, ocupa la tercera posición a nivel mundial entre los cereales más cultivados, después del sorgo y el arroz, ya que se encuentra en más países que cualquier otro cultivo y ha producido el más alto rendimiento por unidad de área que cualquier otro cereal.

Según la FAO (1985), en Nicaragua el maíz (*Z. mays*), es un cultivo alimenticio muy importante en la dieta nacional aunque se aumenta el área de siembra (un área total de 161,000 ha, con una producción total de 234,000 toneladas con promedio de 1,452 kg/ha), los rendimientos no son satisfactorios.

En Masaya, el cereal más cultivado es el cultivo del maíz (*Z. mays*), ocupando un área de siembra de 35,412 ha (según cifras del MAG antes MAGFOR, 2010), es por esta razón que representa gran responsabilidad cuantificar la afectación del suelo por efectos erosivos en presencia de este cultivo.

Con estudios anteriores se ha observado que, en campos con cultivos de maíz se ha obtenido una pérdida de suelo 72.84 t/ha, registrando la menor cantidad de pérdida de suelo en comparación con la parcela con cultivo de frijol y una parcela de testigo con valores de 120.35 t/a y 98 t/ha respectivamente en suelo con textura arcillosa, un contenido de materia orgánica del 3% y pendiente promedio de 30% en el municipio de Santa Lucia, Boaco en el año 2008 este estudio de igual manera se calculó por medio de la USLE, teniendo una categoría de pérdida de suelos alta según la tabla de tolerancia T de la FAO, publicada en 1980 (UNA,2008)

7.2.4. Condiciones climáticas del lugar

El paisaje se identifica por su clima de trópico Sub-húmedo, con veranos cálidos, húmedos e inviernos fríos con fuertes precipitaciones que van de 1,100 - 1,300 mm, anualmente (MAG, INETER, 2010).

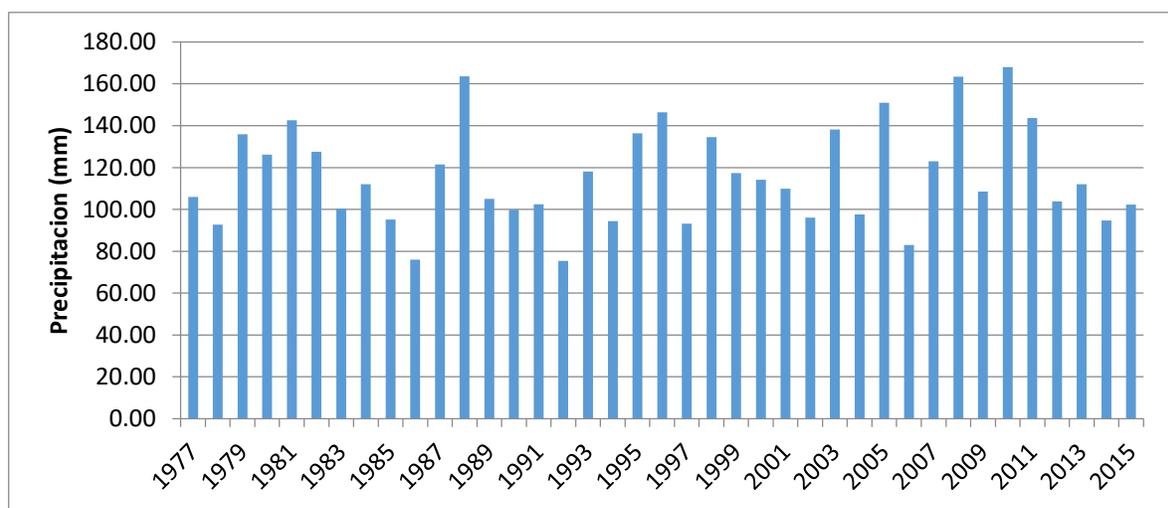
El clima dominante de la zona de Masaya tiene temperaturas medias mensuales que varían entre 25°C en invierno y 30.8°C en verano. La temperatura más alta es registrada en el mes de abril, las temperaturas de la zona son muy extremas y la amplitud térmica anual muy elevada, aproximadamente 26.5°C.

La evapotranspiración más alta se presenta en el mes de abril con 175 mm aproximadamente y con la evapotranspiración más baja con 125 mm para el mes de diciembre. La humedad relativa varía entre el 66% para el mes de abril y 85% para el mes de octubre. La velocidad del viento promedio de la zona es de 1.57 m/s a dos metros sobre el suelo.

Las precipitaciones anuales son generalmente moderadas, si bien, presentan una elevada variabilidad interanual con alternancia de periodos de sequía y periodos de precipitaciones relativamente abundantes. La precipitación media por año agrícola para la serie de 39 años de duración 1977/78 a 2014/15 es de 116 mm (ver figura.4).

Considerando que para nuestro estudio, la estación Masaya influye directamente, (por su posición geográfica) y contando con más de 20 años de registros (completos en un 98% aproximadamente), se ha establecido ésta estación como la principal para efectos de cálculos en nuestro proyecto con código 69115.

Figura 4: Precipitación total por año (mm) de la serie 1977-2015.

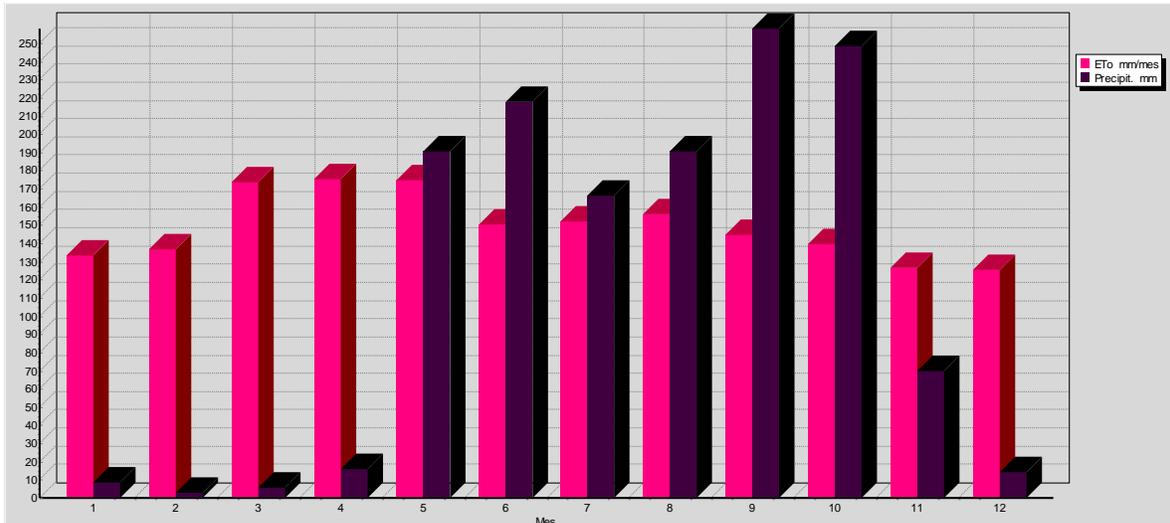


Fuente: INETER.

El balance hídrico del suelo, realizado con los valores climáticos medios anuales de 1977 a 2015, muestra la escasez de precipitaciones durante los meses de enero, febrero, marzo, abril y noviembre a diciembre, que se refleja en un marcado

déficit hídrico en el suelo durante estos meses, en cambio se logra observar una precipitación cumbre para el mes de septiembre, seguido del mes de octubre.

Figura 5: Balance hídrico del suelo para la zona de Masaya, valores climáticos medios anuales de los registros 1977 a 2015. (Rosa- evapotranspiración, purpura- precipitaciones)



Fuente: CROPWAT.

7.3. Diseño experimental

7.3.1. Los tratamientos

Se estableció un experimento en bloques de 4 parcelas. Dos con cultivo de maíz (*Zea mays*) y otros dos sin cultivo, en una extensión para cada parcela demostrativa de 30m².

Se nombró con un código específico a cada una de las parcela P1, P2, P3, P4.

Donde;

P1: Suelo desnudo como testigo y con control de maleza. Este tratamiento se le dio asistencia con prácticas culturales, puesto que el objetivo del experimento es evaluar el efecto del suelo desnudo y la vulnerabilidad de la erodabilidad del suelo ante la erosividad de la lluvia.

P2: parcela sin cultivo y sin control de maleza (barbecho). Este tratamiento no se le dio ningún tipo de asistencia, puesto que el objetivo fue evaluar la respuesta de malezas sobre las pérdidas de suelo.

Imagen 1: Condiciones de los tratamientos P1 y P2.



Fuente: Elaboración propia.

P3: parcela con cultivo de maíz (*Zea mays*) y sin control de maleza. La variedad sembrada fue maíz híbrido concentrado, sembrado en la primera semana de mayo 2016, se fertilizó una sola vez a los 20 dds, se aplicó cipermetrina a los 13 y 31 dds, a este tratamiento no se le aplicó ningún tipo de prácticas agrícolas, dejando el cultivo con presencia de hierbas en el suelo.

P4: parcela con cultivo (*Zea mays*) y con control de maleza. Esta parcela es igual que en P3, a diferencia que a esta parcela se le aplicó prácticas agrícolas convencionales y desmalezadas, eliminando la maleza y aporcando los surcos a los 12 y 38 dds.

Imagen 2: Condiciones de los tratamientos P3 y P4.



Fuente: Elaboración propia.

7.3.2. Construcción de las parcelas demostrativas

En la fase de campo se delimitó el área de estudio, con 30 m² para cada parcela el cual se encuentra ubicada alejada de los árboles para evitar alteración y tener datos más confiables durante la investigación.

Se instaló las paredes de láminas de zinc liso calibre # 28 enterradas a 10 cm del suelo dejando de barrera (muro) 25 cm de altura para bordear el perímetro de cada parcela esto con el objetivo de evitar que entre o salga agua de escurrimiento o sedimento de cada parcela y que reciba únicamente agua verticalmente de las precipitaciones, al pie de las parcelas.

Imagen 3: Instalación de las paredes retenedoras de las parcelas demostrativas.



Fuente: Elaboración propia

Al final de la pendiente se colocó un canal depósito (de 10 cm de ancho y 12 de profundidad del mismo material que las paredes de las parcelas y un doble en la parte superior del canal de 11 cm que fueron enterrados en el perfil del suelo a una profundidad de 10 cm), que permita además de dirigir la alícuota (suelo más agua) y transportarlo a los depósitos recolectores, acumular el sedimento erosionado que no logró transitar hasta los recolectores. De tal forma que se evitara cualquier error experimental en la recolección de la información (ver imagen 4). El canal depósito fue cubierto con plástico negro para evitar que reciba agua de lluvia, para que reciba únicamente el agua y sedimento proveniente de la parcela de investigación.

Imagen 4: Instalación de las paredes retenedoras de las parcelas demostrativas.



Fuente: Elaboración propia

Cada parcela tiene una dimensión de 5 metros de ancho perpendicular a la pendiente del terreno y 6 metros de largo en dirección a la pendiente dominante del terreno, para un área útil de 30m^2 . En la parte inferior de las parcelas se colocó un canal depósito que conecta al tanque recolector, se colocaron como depósito recolector un recipiente de plástico (balde) con una capacidad de 22.5 litros aproximadamente tomando en cuenta la capacidad del escurrimiento que se pudiera presentar (que reciben los sedimentos y agua de cada evento lluvioso). Las parcelas, están dispuestas a la misma dirección de la pendiente; de este a oeste (ver imagen 3 a 5), con pendientes promedio que oscilan entre 0 – 0.3%

Imagen 5: Instalación de las parcelas demostrativa.



Fuente: Elaboración propia

7.3.3. Manejo del ensayo y metodología parcelas demostrativas

El estudio se realizó de acuerdo a las condiciones geográficas del lugar, tanto naturales como climáticas y edáficas, tomando como principio evitar perturbar la superficie del suelo al momento de la instalación de las parcelas de investigación con el propósito de lograr información confiable en base a los eventos que se presentaran en la zona de estudio. Durante el proceso se llevaron a cabo dos fases: la fase de campo y la fase de laboratorio.

La recolección de muestras se dio después de cada evento lluvioso sacando del depósito recolector muestras en vaso de gerber (con volumen conocido de 133 ml) con sedimentos debidamente codificado con fecha, código de parcela y número de tanque recolector. Cada tanque tiene una altura útil de 36.5 cm y 28 cm de diámetro con el fin de calcular el volumen de los sedimentos sabiendo que

tiene una capacidad estando totalmente lleno de 22.474 litros y, posteriormente se recogió con una espátula el suelo que no fue arrastrado hasta al depósito recolector, depositándola en bolsas de polietileno calibre # 200 y llevadas al laboratorio para el pesaje. Estas muestras fueron llevadas al laboratorio de suelos y agua de edafología de la UNI-FTC para realizarles sus respectivos análisis.

7.3.4. Simulador de lluvia portátil

Así mismo se utilizó en las parcelas demostrativas de erosión tipo USLE de un equipo de simulación de lluvia portátil diseñado para realizar ensayos en microparcels de pequeño tamaño (0.1764 m^2 , $0.42 \times 0.42 \text{ m}$), el equipo se muestra en las siguientes imágenes (imagen 6 al 11).

Imagen 6: Regadera nivelada correctamente sobre el suelo. Instalado en P2.



Imagen 7: Soporte metálico ajustable. Instalado en P1.



Imagen 8: Preparación del simulador de lluvia portátil para el llenado de la regadera. Instalado en P1 con los demás accesorios.



Imagen 9: Extracción de muestras de escorrentía y sedimentos arrastrados. Instalado en P3 con los demás accesorios.



Fuente: Elaboración propia.

La estructura del equipo está construida de 4 varillas de hierro hueco de 3/4" y 2mm de espesor con una altura de 1.20 metros cada una. Posee un espárrago en el interior de cada una de las varillas de 100 cm, al pie de los espárragos una tuerca capaz de subir y bajar con el fin de adaptarse de manera independiente a diferentes topografías del terreno, esto es la base o estructura metálica del simulador de lluvias portátil, en la parte superior del equipo esta lo que llamamos la regadera, que consta con un área útil de lluvia simulada de 42 x 42 cm, la altura de la base de la regadera es de 2.54 cm, sobre la base de la regadera se encuentra un tanque circular (con dimensiones de 25 cm de altura y 20 cm de diámetro) , que puede llegar a almacenar hasta un poco más de 12 litros de agua de volumen efectivo(agua útil para realizar las simulaciones).

En la cima del tanque de la regadera del equipo simulador de lluvias portátil se encuentra un tubo hueco de plástico (tubo aireador) que atraviesa de forma vertical al centro del tanque, este tubo es el encargado de suministrar la presión de empuje del agua hacia los capilares en la base de la regadera (lluvia simulada antes analizada en laboratorio que puede alcanzar diferentes intensidades desde 13.14 mm/min hasta 3.59 mm/min y diámetros de gota de 4.5 mm y masa de 0.04 gramos). La intensidad puede incrementarse o reducirse según la cantidad de capilares y la altura del tubo de aireación. La regadera cuenta con 169 capilares de 0.5 mm de diámetro interno y diámetro externo de 2.5 mm y una altura de 5 mm a espacios de 3.23 cm.

Imagen 11: Simulador de lluvias portátil, prueba en P1.



Fuente: Elaboración propia

Imagen 10: Simulador de lluvias portátil, prueba ajustado a intensidad de 6.42 mm/min en P2.



Fuente: Elaboración propia

7.4. Caracterización de los episodios de lluvia durante el periodo experimental

El criterio utilizado para la caracterización del registro continuo de las precipitaciones durante la etapa experimental, fue la precipitación medida después de cada día de lluvia (utilizando el pluviómetro de la estación en el CEA-UNI). Siguiendo este criterio se han contabilizado durante el periodo experimental un total de 10 episodios de lluvias en los meses de mayo y junio.

En este periodo destacan episodios de diferentes intervalos (de baja y moderada precipitación). De las 10 precipitaciones, hubieron 2 episodios de baja intensidad, donde se registraron menos de 2 mm en 15 minutos aproximadamente, en los cuales no se produjo escorrentía, por consecuencia no hubo arrastre de sedimentos. Así mismo se registraron 8 episodios que superaron los 2 mm de precipitaciones que permitieron escorrentía y así poder captar los sedimentos arrastrados.

7.5. Limitaciones para el cálculo del factor R

Obtener el factor R fue complicado. La información necesaria para el cálculo de *EI* (Energía Cinética) no está disponible para la mayoría de los casos. La información publicada detallada es a escala mensual, sin embargo a lo largo de los años el INETER ha otorgado débil información y la obtención de la de misma es muy complicada (Factor de erosividad).

Para aquellos casos en que no exista mucha información, es necesario utilizar metodologías que puedan ayudar a resolver el problema (haciendo uso de la RUSLE). Hay que aclarar que en estas circunstancias, los resultados obtenidos hay que utilizarlos con las reservas del caso.

Para determinar el factor R se utilizó la ecuación del índice de Fornuier, por existir limitaciones en los registros de los datos climáticos. El valor obtenido de este procedimiento está bajo unidades del sistema americano, por lo que tuvo que multiplicarse para utilidad del sistema internacional por 17.02.

$$R = \frac{P_i^2}{P} * 17.02$$

Donde;

R: factor de erosividad.

Pi: precipitación promedio mensual (mm).

P: precipitación promedio anual (mm).

Para poder estimar este factor se utilizó la información de precipitación de la estación pluviometría de Masaya ubicada en lagunas de oxidación, utilizando los registros de referencia anual del año 2015 y los datos de precipitación del mes de mayo y junio del año 2016 medidos con apoyo del pluviómetro de la estación pluviométrica ubicada en el CEA-UNI por no poseer información pluviométrica actualizada por parte de INETER.

VIII. ANALISIS E INTERPRETACION DE RESULTADOS

8.1. Caracterización de las propiedades físicas y químicas del suelo

Bajo el sitio de Masaya se encuentra una secuencia joven y relativamente gruesa a su vez en forma discordante depósitos de unidades significativas de pómez. El campo experimental se sitúa en el tramo interior de una parcela de cultivo, donde anteriormente se encontraba sembrado cultivo de sorgo. El suelo de topografía recta (casi plana) presenta una pendiente de 0.3%. El perfil edáfico fue descrito mediante una calicata de 100 cm de profundidad aproximada, localizada al lateral de las parcelas.

Imagen 12: Calicata de las parcelas demostrativas en el CEA-UNI.



Fuente: Elaboración propia

El suelo presenta una condición porosa, favorable para el crecimiento de las raíces, buena aireación y estabilidad en la infiltración del agua (función hidrología del suelo). Tomando en cuenta los tamaños de partículas de suelo, al palparlo se siente una superficie áspera y al apretarlo entre los dedos es pegajoso y granuloso, (para suelos franco arcillosos), encontramos un suelo superficial mólico, encontrado dentro de un espesor de los 30 cm como lo menciona la FAO (2009), en la guía para la descripción de los suelos.

El suelo muestra una configuración de estructura laminar y conglomerados, terrones y miga, con superficies planas y casi redondeadas que son moldes de la cara de los agregados vecinos, estratificación fina con sedimentos no consolidados.

En la siguiente tabla se muestra una ficha elaborada para detallar la descripción morfológica del perfil del suelo.

Tabla 4: Descripción morfológica del perfil del campo experimental CEA-UNI y de los distintos horizontes.

| | | |
|---|------------------------------------|--|
| DESCRIPCIÓN DEL PERFIL | Clasificación del suelo | FAO (1989): suelos mólicos. |
| | Localización | Centro Experimental Agrícola. CEA-UNI. |
| | Coordenadas | N12°00'5.33" W85°59'90.8" |
| | Altitud | 261 msnm |
| | Topografía del terreno circundante | Terrenos planos o casi planos |
| | Microtopografía | Surcos de labranza |
| | Pendiente | 0.3% |
| | Exposición | Norte |
| | Drenaje | Bueno* |
| | Pedregosidad superficial | No |
| | Afloramiento rocoso | No |
| | Uso del suelo | Cultivos anuales y perennes de regadío y seco |
| | DESCRIPCIÓN DE LOS | 0-25 cm; color gris a pardo grisáceo Estructura granular débil y de consistencia muy friable. Frecuentes raíces muy finas. Rasgos de la actividad agrícola y presencia de fauna. La muestra se desintegra en fragmentos después de la aplicación de fuerza leve. En este horizonte se logró observar la profundidad de las raíces del maíz, alcanzando la extensión más larga 21 cm y la mayor concentración de raíces a los 12 cm. La profundidad radicular está ligado a las principalmente a las características del suelo, textura, distribución de nutrientes y fundamentalmente al régimen de la humedad. |
| 25-63 cm; color pardo rojizo El cuchillo penetra solo 1-2 cm dentro el suelo, se requiere algo de esfuerzo, la muestra se desintegra en pocos fragmentos, los cuales no pueden ser sub-divididos. En condiciones secas, este perfil se endurece a niveles altos. | | |
| 63-100 cm; color pardo oscuro con pigmentaciones rojas Frecuentes poros muy finos y de consistencia firme en húmedo. Perfil no encostrado, configuración de agregados no consolidados. Fácil de penetrar con poco esfuerzo. | | |

Fuente: Elaboración propia

* Información extraída del libro con título **Compendio Mapas: uso potencial de las tierra**, MAGFOR, INETER 2010.

Tabla 5: Resumen de los resultados de las propiedades de suelo de las parcelas demostrativas en el CEA-UNI.

| Propiedades | Resultado | Clasificación |
|--------------------------|------------------------------|-----------------------------|
| Cc(%) | 74.0 | Muy alta |
| PMP (%) | 49.76 | Muy alta |
| H (%) | 30.7 | AGR* |
| Da (gr/cm ³) | 1.066 | Baja |
| Dr (gr/cm ³) | 1.329 | Baja |
| P (%) | 19.79 | Muy baja |
| Textura | Ar: 36 % L: 40% A: 25% | Franco arcilloso |
| MO (%) | 2.16 | - |
| PH | 5.40 | Fuertemente ácido (USDA) |

Fuente: Elaboración propia

*: Agua gravitacional retenida (AGR) por el suelo durante la infiltración de las lluvias que puede ser absorbida por las raíces o puede estar retenida tan energéticamente que no es absorbible por las raíces.

8.1.1. Densidad del suelo

La densidad de los suelos (Da con 1.066 gr/cm³ y Dr con 1.329 gr/cm³), está relacionada con otras características de los suelos, como la infiltración de agua, por ejemplo los suelos arcillosos (con 1 a 1.6 g/cm³), los cuales tienen una mayor retención de agua que en los suelos arenosos según FAO (1988).

8.1.2. Capacidad de campo

Los suelos que presentan valores de capacidad de campo altos, son capaces de almacenar mucha agua en los poros, para el CEA-UNI, en las parcelas demostrativas con 74.0% de capacidad de campo clasificada como muy alta según la tabla de clasificación de capacidad de campo de Cairo (1995), ver tabla en anexo 24.

8.1.3. Materia orgánica

Con 2.16%, clasificada como media (ver tabla en anexo 26) La materia orgánica, encontrándose en los primeros 15 mm del suelo, además de ser importante para

las plantas, favorece la formación de una estructura estable de agregados en el suelo por medio de la asociación de las arcillas con la materia orgánica aumentando la capacidad de retención de agua y nutrientes en el suelo hasta cinco veces su propio peso y reduce la escorrentía.

8.1.4. Porosidad

Con 19.79%, clasificada como muy baja según la tabla de Cairo (1995), ver tabla en anexo 23. Esta característica de los suelos al igual que la densidad del suelo puede ser evaluada por la alteración de la labranza, influyendo sobre el abastecimiento de agua y aire a las raíces, penetración de desarrollo de las raíces y de la microfauna.

8.1.5. Textura

La textura, definida como la propiedad más importante del suelo, la proporción de las fracciones de arena, limo y Arcilla está íntimamente relacionada con la composición mineral, área superficial y espacio de poros del suelo. Para suelos franco arcillosos, ofrecen buena retención de agua, buena estructura, trabaja muy bien con la materia orgánica en la absorción de agua y nutrientes en el suelo, PH óptimo para una gran variedad tipo de cultivo.

8.2. Comportamiento de las parcelas demostrativas tipo USLE

Tabla 6: Sedimentos recolectados, registro de escorrentía y registro de infiltración de las parcelas demostrativas.

| No. | Fecha | Sed. Recolectado. (gr) | | | | registro de escor (lts) | | | | registro de infiltracion (m ³) | | | | precipitacion (mm) |
|-----|------------|------------------------|---------|---------|---------|-------------------------|-------|-------|-------|--|--------|--------|--------|--------------------|
| | | P1 | P2 | P3 | P4 | P1 | P2 | P3 | P4 | P1 | P2 | P3 | P4 | |
| 1 | 05/05/2016 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.018 | 0.018 | 0.018 | 0.018 | 0.60 |
| 2 | 06/05/2016 | 156.96 | 538.03 | 289.14 | 156.96 | 22.97 | 23.37 | 22.97 | 22.97 | 0.2050 | 0.2046 | 0.2050 | 0.2050 | 7.60 |
| 3 | 17/05/2016 | 136.54 | 244.63 | 180.71 | 188.17 | 5.42 | 6.30 | 6.70 | 6.38 | 0.0786 | 0.0777 | 0.0773 | 0.0776 | 2.80 |
| 4 | 18/05/2016 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.003 | 0.003 | 0.003 | 0.003 | 0.10 |
| 5 | 27/05/2016 | 44.52 | 194.26 | 26.62 | 14.04 | 12.38 | 9.15 | 7.40 | 6.51 | 0.0902 | 0.0934 | 0.0952 | 0.0961 | 3.42 |
| 6 | 30/05/2016 | 611.32 | 487.59 | 495.67 | 413.06 | 22.97 | 23.37 | 22.97 | 22.97 | 0.2059 | 0.2055 | 0.2059 | 0.2059 | 7.63 |
| 7 | 03/06/2016 | 215.89 | 148.61 | 147.30 | 176.70 | 9.38 | 7.86 | 8.36 | 8.93 | 0.2102 | 0.2117 | 0.2112 | 0.2107 | 7.32 |
| 8 | 04/06/2016 | 72.41 | 420.33 | 305.66 | 446.10 | 22.97 | 23.37 | 22.97 | 22.97 | 0.2395 | 0.2391 | 0.2395 | 0.2395 | 8.75 |
| 9 | 05/06/2016 | 641.39 | 1210.64 | 809.59 | 256.09 | 22.97 | 23.37 | 22.97 | 22.97 | 0.2920 | 0.2916 | 0.2920 | 0.2920 | 10.50 |
| 10 | 08/06/2016 | 4105.77 | 613.69 | 1610.92 | 5179.71 | 22.97 | 23.37 | 22.97 | 22.97 | 0.4831 | 0.4827 | 0.4831 | 0.4831 | 16.87 |

Fuente: Elaboración propia

En la tabla 6. Se muestra el número de episodios de lluvia, la cantidad de sedimentos recolectados y registro de escorrentía y la precipitación medida con el pluviómetro de la estación meteorología ubicado en el CEA-UNI, para cada manejo del ensayo del periodo experimental, tanto en los que existió escorrentía y en los que no se produjo escorrentía (en los casos del primer y cuarto evento lluviosos registrados en el CEA-UNI), dando lugar a un coeficiente de escorrentía de 0%.

La cantidad de sedimentos arrastrados y producción de escorrentía está ampliamente ligada a la pluviometría del lugar, tal es el caso del evento no. 2 (ver tabla 6), donde P2 registró mayor arrastre de sedimentos en comparación a las otras parcelas, con una pluviometría de 7.6 mm, y al analizar el comportamiento de las parcelas demostrativas se observa que el valor de sedimentos en la parcela con barbecho (P2), en el segundo evento lluvioso, se ve un incremento de arrastre de los sedimentos en un 29.17 % en relación a la parcela testigo (P1), este comportamiento del incremento de arrastres de sedimentos en parcela con

barbecho, se mantuvo siempre que se registró días consecutivos de precipitaciones.

8.3. Pérdida de suelo en parcelas de escorrentía

Los resultados de pérdida de suelos que se presentan en la tabla 7 para el mes de mayo, el tratamiento de la parcela 2 (solo maleza/barbecho) presento una pérdida de suelo de 0.537 ton/ha, mientras que las parcelas 1 (suelo desnudo), 3 (maíz sin control de maleza) y 4 (maíz con control de maleza) presentaron menor cantidad de suelo erosionado con 0.348 ton/ha, 0.364 ton/ha y 0.283 ton/ha respectivamente (ver tabla 7). Los resultados que se obtuvieron para el mes de junio, la parcela 4 presento una pérdida de suelo total de 2.22 ton/ha, es decir con los mayores arrastres, mientras que los tratamientos para las parcelas 1,2 y 3 fueron de menor pérdida de suelo con 1.84 ton/ha, 0.87 ton/ha y 1.053 ton/ha respectivamente, es decir que P2 registro menor cantidad de sedimento para el mes de junio. (Ver tabla 8).

Aunque éstos mostraron pérdidas de suelo en los tratamientos (P1, P2, P3 y P4), de seguir este comportamiento en los 12 meses del año se espera que sean menores a 10 ton/ha/año para el mes de mayo y encontrándose dentro de los rangos permisibles de pérdida de suelo según la tabla 3 de tolerancia T pérdida de suelo de la FAO (1980), que se clasifican como de ninguna a ligera.

Para el mes de junio todos los tratamientos superaran las pérdidas de 10 ton/ha/año, de seguir este comportamiento en los 12 meses del año, superaran el rango de tolerancia T mayor de 10 Tm/ha/año (ver tabla 3: categorías de pérdida de suelo) clasificada como moderada, según la tabla de tolerancia de pérdida de suelos de la FAO (1980).

8.4. Volumen de Escorrentía

El volumen de escorrentía total para los cuatro tratamientos en el mes de mayo fue de 0.24477 m³ con 21.45 mm de precipitación, mientras que el volumen de agua de escorrentía para los cuatro tratamientos en el mes de junio fue de 0.288362 m³ con precipitación acumulada de 43.44 mm. En relación al registro del año 2015 de INETER estos resultados fueron menores (ver anexo 19).

8.5. Concentración de sedimentos en las parcelas demostrativas

Las concentraciones de sedimentos para las 4 parcelas demostrativas para el mes de mayo fue de 1.532 ton/ha con precipitación acumulada de 21.45 mm y para junio de 5.998 ton/ha con una precipitación acumulada de 43.44 mm respectivamente, lo que está correlacionado, que a mayor cantidad de lluvia precipitada existe mayor concentraciones de sedimentos.

8.6. Cálculos para las parcelas de escorrentía para los meses de mayo y junio

Para la captación de los sedimentos a través de la parcelas de escorrentía se hizo una serie de relaciones para calcular dicho valor como se presenta en las tablas (ver tabla 7 y 8), se obtuvieron valores de sedimentos arrastrados, volumen de escorrentía recolectado y volumen de agua infiltrada.

Con respecto a los datos obtenidos de volumen de agua infiltrada y volumen de escorrentía recolectado, se presentaron datos similares en todos los tratamientos, ya que los recolectores no tenían la capacidad para captar todo el volumen de escorrentía y afectaba directamente a estos datos, esta dificultad se dio dado que las dimensiones de los recolectaros se calculó por los datos de precipitación del año 2015.

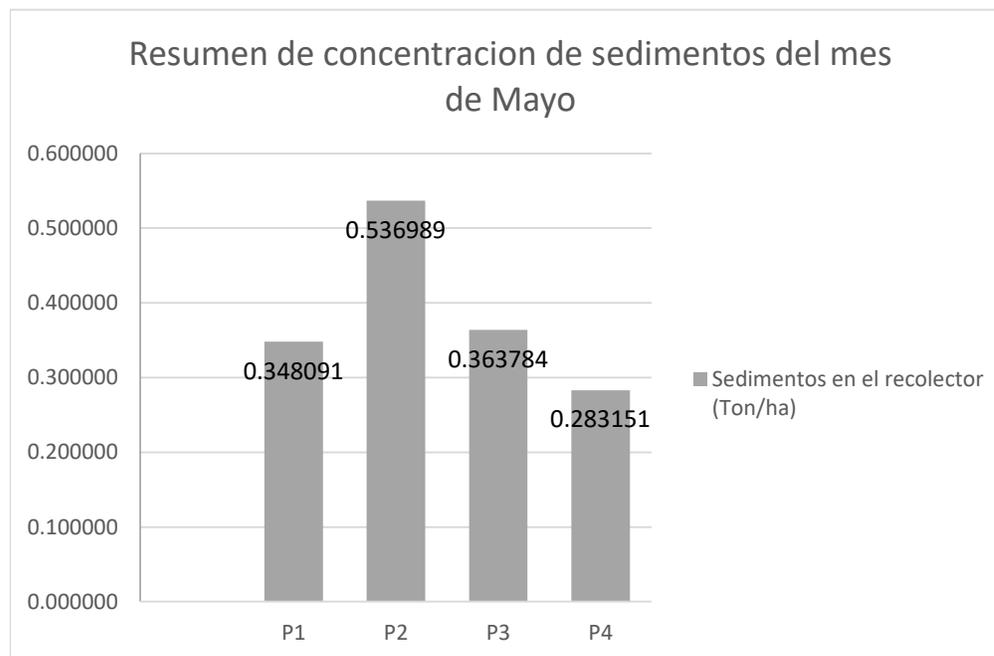
Tabla 7: Volumen de agua infiltrada, volumen recolectado y sedimentos recolectados para el mes de mayo

Mes de Mayo
Precipitación: 21.45 Mm

| Parcelas | Volumen de agua infiltrada (m ³) | Volumen en recolector (m ³) | Sedimentos en el recolector (Ton/ha) |
|----------|--|---|--------------------------------------|
| P1 | 0.580 | 0.064 | 0.348091 |
| P2 | 0.581 | 0.062 | 0.536989 |
| P3 | 0.583 | 0.060 | 0.363784 |
| P4 | 0.585 | 0.059 | 0.283151 |
| Σ | 2.329 | 0.245 | 1.532015 |

Fuente: Elaboración propia

Figura 6: Resumen de concentración de sedimentos del mes de mayo.



Fuente: Elaboración propia

Como se observa en la Figura 6, En el mes de mayo P2 tuvo una mayor concentración de sedimentos arrastrados, debido a la escasa presencia de maleza al inicio del ensayo, para los tratamientos P1 y P4 se realizó prácticas agrícolas convencionales (desyerba), actividad que contribuyó a la aireación del suelo. En el caso de P3, en este periodo las plántulas de maíz estaban en etapa de crecimiento, sin embargo el suelo se encontraba removido por la práctica de siembra (surcado y el aporque de los surcos), favoreciendo la absorción del agua.

Diversos estudios sobre este tema han mostrado que tras las operaciones de laboreo aumenta la porosidad del suelo (Radcliffe et al., 1988; Hill, 1990; Miller et al., 1998; Suwardji y Eberbach, 1998; Logsdon et al., 1999; Green et al., 2003), se incrementa la conductividad hidráulica (Messing y Jarvis, 1993; Moret y Arrue, 2007) y se favorece la infiltración al aumentar la rugosidad del microrelieves (Gupta et al., 1991).

Otro aspecto influyente en este suceso, se puede decir que, P2 obtuvo un mayor arrastre de sedimentos siempre que se presentaron episodios consecutivos de lluvia, en investigaciones realizadas en el mediterráneo de España, revelan que la humedad antecedente condiciona la repuesta hidrológica del suelo ante una precipitación dada (Finker et al., 1986; Fitzjhon et al., 1998 y Canton et al., 2001). Por tanto, además de tener en cuenta el volumen de precipitación acumulada, la humedad antecedente debe considerarse un factor clave a la hora de evaluar el potencial generador de escorrentía de un determinado episodio de lluvia, y en consecuencia su potencial erosivo.

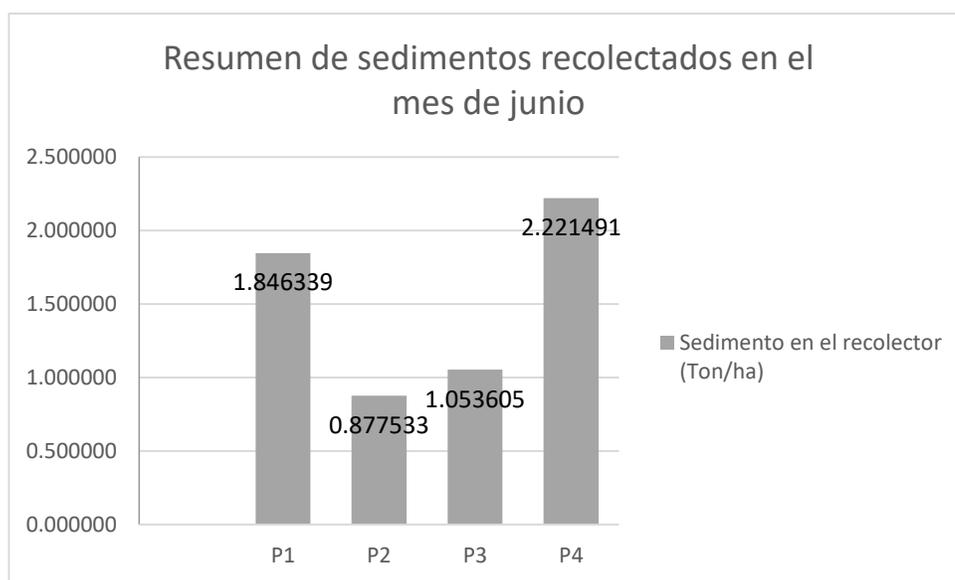
Tabla 8: Volumen de agua infiltrada, volumen recolectado y sedimentos recolectados para el mes de junio.

Mes de Junio
Precipitación: 43.44 mm

| Parcelas | Volumen de agua infiltrada (m ³) | Volumen en recolector (m ³) | Sedimento en el recolector (Ton/ha) |
|----------|--|---|-------------------------------------|
| P1 | 1.225 | 0.078 | 1.846339 |
| P2 | 1.225 | 0.078 | 0.877533 |
| P3 | 1.226 | 0.077 | 1.053605 |
| P4 | 1.225 | 0.078 | 2.221491 |
| Σ | 4.901 | 0.311 | 5.998968 |

Fuente: Elaboración propia.

Figura 7: Resumen de concentración de sedimentos para el mes de junio.



Fuente: Elaboración propia.

Contrario al mes de mayo, para el mes de junio, P4 y P1 produjeron el mayor arrastre de sedimentos, las características comunes de estos ensayos fue la remoción del suelos, cabe mencionar que el cultivo de maíz estaba en su fase de desarrollo, además que el crecimiento radicular tuvo influencia en la remoción de

partículas y sedimentos de suelo junto a la activada de desmalezado. Para P2 y P3, la densidad de las malezas tuvo efecto directo en la protección del suelo logrando que en estos tratamientos se produjera menor pérdida de suelo.

Por tanto, las actividades de laboreo (efectos transitorios), con el paso del tiempo la capa de labor se asienta, aumenta su densidad aparente y compactación (McKyes, 1985) y se reduce la porosidad total como la rugosidad superficial (Zobek y Onstad, 1987), lo que conlleva a la disminución a la capacidad de infiltración del suelo.

8.7. Parámetros para el cálculo de la erodabilidad del suelo (Factor K) utilizando el modelo de la ecuación USLE

8.7.1. Erosividad de la Lluvia (R)

Utilizando la ecuación del índice de Fournier y los datos de precipitación promedio anual de la estación meteorológica de INETER del año 2015 y datos de precipitación medidos con el pluviómetro del CEA-UNI, se determinó el factor R que corresponde al mes de Mayo es de 7.6511 MJ mm/ha-hr y el mes de Junio es de 31.3798 MJ mm/ha-hr. En el anexo 19 se presenta el proceso utilizado para calcular R.

Los resultados destacan que la elevada variabilidad de las precipitaciones y las pérdidas de suelo provocado por la erosión hídrica en el tiempo, implicaría que para obtener series de datos representativas y fiables de la respuesta hidrológica y erosiva del suelo, se necesitará un periodo de observación más extenso. (Castillo et al., 2000; Zuzel *et al.*, 1990).

8.7.2. Factores de longitud de pendiente L y factor de gradiente de pendiente S

Las parcelas demostrativas estaban ubicadas en pendientes de 0.3 y con una área de 5x6, los cálculos de estos factores se determinaron con las formulas establecidas por Wischmeier and Smith (1976). Donde L (Longitud de la pendiente) fue 0.77 y para S (Gradiente de la pendiente) un valor de 0.079. Estos datos son iguales para todas las parcelas demostrativas.

8.7.3. Factor cobertura vegetal C

De acuerdo al uso de la tierra y al valor que se obtuvo de la tabla (ver anexo 3), se encontraron valores de 0.32 para P4 (cultivo de maíz con prácticas convencionales), en la parcela 3 se obtuvo un valor de 0.5 (cultivo de maíz sin laboreo convencional), para P2 (barbecho) un valor de factor C de 0.017 y, para la parcela 1 (suelos desnudos) tomó el valor de 1.

8.7.4. Factor de prácticas de conservación P

En las parcelas demostrativas para esta investigación, no se realizó ninguna de las prácticas de conservación de suelo como son cultivos en fajas, construcción de terrazas o cultivos a curvas a nivel, de tal manera el valor de estas parcelas para el factor P es igual a 1 (Ver anexo 20)

8.7.5. Erodabilidad del suelo (K)

Para determinar el factor K se calculó por el método de la ecuación universal de pérdida de suelo (USLE) despejando K y así poder tener este valor para los diferentes tratamientos evaluados en las parcelas para los meses de Mayo y Junio (ver tabla 9 y 10). El factor K representa el efecto de las propiedades del suelo y de las características del perfil del suelo en la pérdida de suelo.

Tabla 9: Factores de la USLE para determinación de K para el mes de Mayo.

| Factor | Parcela 1 | Parcela 2 | Parcela 3 | Parcela 4 |
|-----------------|-----------|-----------|-----------|-----------|
| A (ton/ha) | 0.3480 | 0.5369 | 0.3637 | 0.2831 |
| R (Mj mm/ha-hr) | 7.6511 | 7.6511 | 7.6511 | 7.6511 |
| L | 0.77 | 0.77 | 0.77 | 0.77 |
| S | 0.079 | 0.079 | 0.079 | 0.079 |
| C | 1 | 0.017 | 0.5 | 0.32 |
| P | 1 | 1 | 1 | 1 |
| K (ton/ha) | 7.78E-06 | 2.04E-07 | 4.06E-06 | 2.03E-06 |

Fuente: Elaboración propia

Tabla 10: Factores de la USLE para determinación de K para el mes de junio.

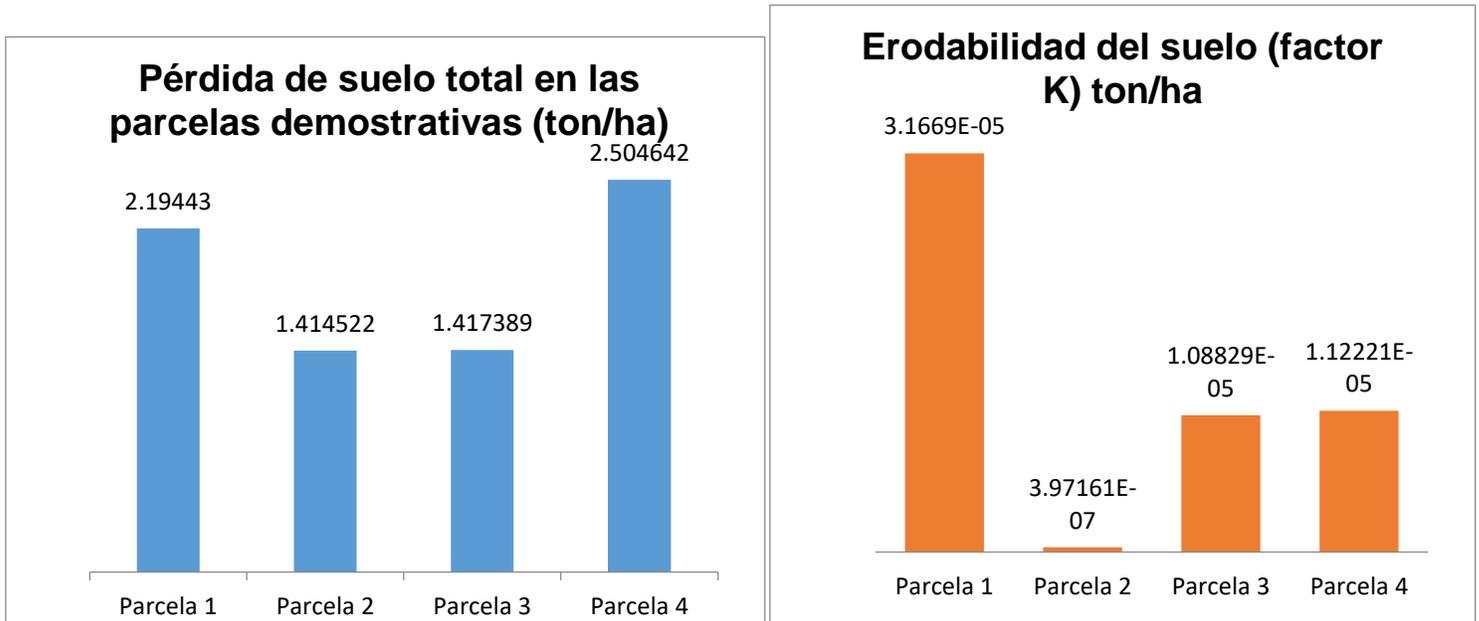
| Factor | Parcela 1 | Parcela 2 | Parcela 3 | Parcela 4 |
|-----------------|-----------|-----------|-----------|-----------|
| A (ton/ha) | 1.8463 | 0.8775 | 1.0536 | 2.2214 |
| R (Mj mm/ha-hr) | 31.3798 | 31.3798 | 31.3798 | 31.3798 |
| L | 0.77 | 0.77 | 0.77 | 0.77 |
| S | 0.079 | 0.079 | 0.079 | 0.079 |
| C | 1 | 0.017 | 0.5 | 0.32 |
| P | 1 | 1 | 1 | 1 |
| K (ton/ha) | 2.38E-05 | 1.92E-07 | 6.81E-06 | 9.2E-06 |

Fuente: Elaboración propia

Tomando en cuenta las distintas condiciones de las parcelas demostrativas, se obtuvieron distintos valores para los factores que conforman la ecuación USLE, despejando K y obteniendo así distintos valores para cada una de las parcelas demostrativas en los meses evaluados mayo y junio.

8.8. Influencia del factor k en las pérdidas del suelo erosionado en las parcelas experimentales

Figura 8: Resumen total de sedimentos arrastrados vs Factor K.



Fuente: Elaboración propia.

Tabla 11: Resumen total para ambos meses evaluados de sedimentos arrastrados vs factor K.

| Factor | Parcela 1 | Parcela 2 | Parcela 3 | Parcela 4 |
|------------|------------|------------|------------|-----------|
| A (ton/ha) | 2.19443 | 1.414522 | 1.417789 | 2.504642 |
| K (ton/ha) | 3.1669E-05 | 3.9716E-07 | 1.0883E-05 | 1.12E-05 |

Fuente: Elaboración propia.

En el figura 8 se puede observar que P4 que es cultivo de maíz con control de maleza se obtuvo mayor pérdidas de suelo con 2.504642 t-ha, debido a la manipulación de remoción de la maleza, no obstante se obtuvo un valor de erodabilidad del suelo (Factor K) de 1.12E-05 ton/ha, por lo contrario P1 que sirvió de testigo como un suelo desnudo sí presentó mayor grado de erodabilidad del suelo (Factor k) con un valor de 3.1669E-05 ton/ha, encontrándose vulnerable a los efectos erosivos del impacto de la gota de lluvia con pérdidas de suelo de 2.19443 t/ha.

Las pérdidas de suelos están influenciadas a las prácticas de manejo (mínimo laboreo o laboreo convencional), y modifican de forma directa e indirecta a sus propiedades químicas, físicas y biológicas, que a su vez, influyen en su fertilidad y productividad. Así mismo, ciertas propiedades del suelo que determinan su vulnerabilidad frente a la erosión son afectadas de forma negativa por el laboreo, y como resultado de los procesos erosivos, el suelo manifiesta un descenso en su fertilidad y productividad.

Al mismo tiempo, la acción de los agentes erosivos provoca una degradación progresiva de la estructura física del suelo lo que, a su vez, aumenta la vulnerabilidad de este a ser degradado y afecta al resto de las funciones del suelo (De Alba, *et al.* 2011).

8.9. Determinación del factor K por medio del nomograma

En la tabla 12, se presentan los valores de las propiedades físicas y el valor de K determinado a partir de la integración de los datos para el cálculo en el nomograma (ver anexo 3). Los valores de K son asignados usando el nomograma de erodabilidad del suelo, que combina el efecto del tamaño de las partículas, %MO, código de la estructura del suelo y la clase de permeabilidad del perfil.

El valor resultante de K fue de 0.525 ton/ha/año, es decir que estos suelos son moderadamente susceptibles al desprendimiento y producen moderados escurrimientos (Mannaerts, 1999). Para los suelos del CEA con pendientes planas y estructura granular fina, K no debería ser mayor, sin embargo en el tiempo y lluvia torrencial, generalmente de corta duración, tienden aumentar dichas pérdidas, por tanto se deberá de planificar mejores prácticas de manejos de suelo.

Tabla 12: Propiedades físicas para el cálculo de K por el nomograma.

| Muestra | Limo + Arena muy finas | Resto de Arenas | Materia Orgánica (%) | Estructura | Permeabilidad | Valor de K (ton/ha/año) |
|---------|------------------------|-----------------|----------------------|---------------|---------------|-------------------------|
| CEA-UNI | 72 | 23.21 | 2.16 | Granular fina | Muy lenta | 0.525 |

Fuente: Elaboración Propia.

8.10. Valor del Factor K por medio de litología

Para la aplicación de este método se necesitan los valores de materia orgánica y textura que se muestran en la tabla (13), para la determinación del Factor K por la litología (ver anexo 4).

Tabla 13: Datos para la obtención de K por medio de litología.

| Clase de Textura | Contenido de materia Orgánica (%) | Valor de K (ton/ha/año) |
|------------------|-----------------------------------|-------------------------|
| Franco Arcilloso | 2.16 | 0.25 |

Fuente: Elaboración propia.

Cuando se carece de información para obtener el factor de erodabilidad del suelo (factor K), es posible determinarlo por medio de la tabla dada por ARS (1975), sin embargo, este valor no es muy exacto, ya que evade otras propiedades que son clave para la determinación de la erodabilidad del suelo.

8.11. Cálculo de sedimentos arrastrados por medio del simulador de lluvia portátil

Tabla 14: Datos obtenidos del simulador de lluvia en las parcelas experimentales en el CEA-UNI.

Precipitación

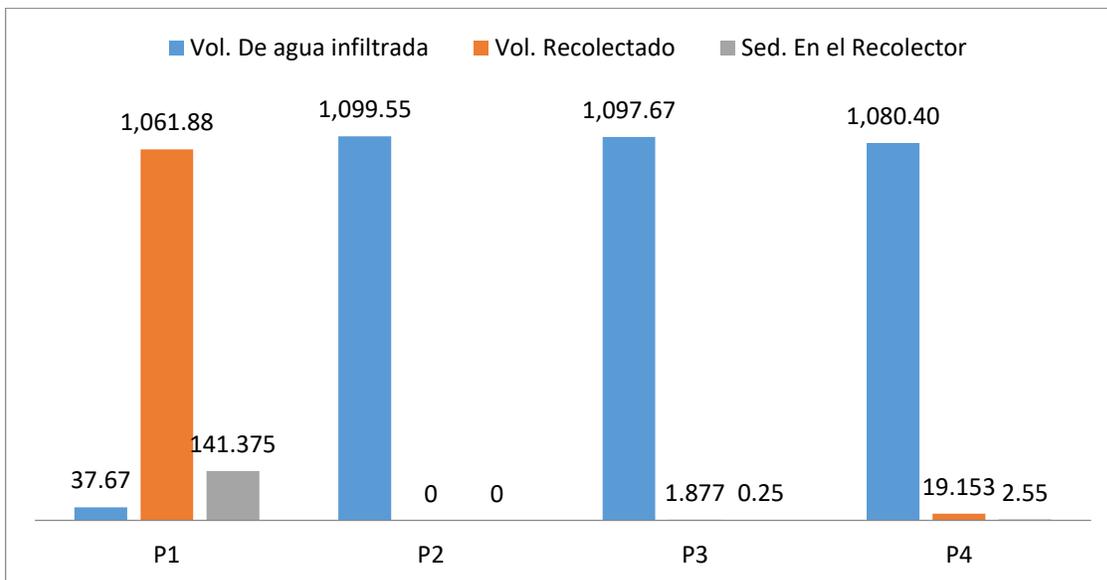
aplicada: 6.1 mm

| Parcelas | Vol. De agua Infiltrada (cm ³) | Vol. recolectado (cm ³) | Sedimentos en el Recolector (gr) |
|----------|--|-------------------------------------|----------------------------------|
| P1 | 37.67 | 1,061.88 | 141.375 |
| P2 | 1,099.55 | 0 | 0 |
| P3 | 1,097.673 | 1.877 | 0.25 |
| P4 | 1,080.396 | 19.153 | 2.55 |

Fuente: Elaboración propia.

En la tabla 14, se observa que los sedimentos recolectados por medio del simulador de Lluvia para la Parcela 1 (suelos desnudos) fue de 141.375 gr, mientras que la parcela 2 no presentó escorrentía, asumiendo que la cobertura vegetal captó toda la cantidad de agua simulada aplicada, en tanto en la Parcela 3 se obtuvo una cantidad de sedimentos de 0.25 gr y en la parcela 4 se captó sedimentos de 2.55 gr, mostrando que en la parcela 1 (Tratamiento Testigo) se obtuvo la mayor captación de sedimentos recolectados en la dicha práctica.

Figura 9: Datos de volumen de agua infiltrada, volumen recolectado y sedimentos en el recolector, obtenidos del simulador de lluvia portátil con una intensidad de 6.41 mm/min en las parcelas demostrativas en el CEA-UNI.



Fuente: Elaboración propia.

En la figura 9, se observa el comportamiento de las parcelas demostrativas utilizando el simulador portátil en relación al volumen de agua infiltrada, volumen de agua recolectada y sedimentos en los recolectores a una intensidad de lluvia del 6.41mm/m, éste dato fue el resultado de los promedios obtenidos en campo utilizando pluviómetros , utilizados en la simulación de lluvia. El volumen de agua infiltrada fue mayor en el P2 (barbechos), y el volumen de agua recolectada y los sedimentos recolectado fue mayor en P1 (suelos desnudos). Estos resultados se muestran normales de acuerdo a los condiciones de los tratamientos.

8.13. Comparación de los resultados obtenidos de los sedimentos arrastrados en las parcelas demostrativas y con el simulador de lluvia portátil

Para hacer una comparación entre el simulador de lluvia y las parcelas demostrativas se tomó en cuenta la precipitación, con el objetivo de tener una mayor validación del ensayo con respecto al arrastre de sedimentos. Teniendo que para el simulador de lluvia se calibró con una precipitación de 6.1 mm de lluvia simulada y para las parcelas demostrativas se utilizó el séptimo registro de evento lluvioso, que presento una precipitación de 7.32 mm de lluvia (ver tabla 6), se ocupó este dato, ya que fue el más próximo al dato obtenido de lluvia simulada, también se utilizó los valores de sedimentos recolectados en todos los tratamientos para la comparación entre el simulador de lluvia y las parcelas demostrativas .

Teniendo que el área del simulador es de 0.1764 m², se puede relacionar que para un área de 30 m² (área de las parcelas demostrativas), se puede tener para P1 (suelos desnudos) una recolección de sedimentos arrastrados de 0.026 ton, mientras que para P1 en las parcelas demostrativas se obtuvo un valor de sedimentos arrastrados de 0.00023 ton. Esta gran diferencia de valores en los

sedimentos arrastrados, se dio ya que el suelo estaba muy suelto debido a las condiciones que se presentaron durante el ensayo (actividades de laboreo).

En el caso de P2 (barbechos), no hubo comparación de sedimentos arrastrados, puesto que no ocurrió escorrentía debido a la protección vegetal de la superficie del suelo, para P3 (suelo con Maíz y malezas) se obtuvo una relación de 0.000046 ton en el simulador, mientras que para las parcelas demostrativa para P3 no hubo valor similar, ya que ella presentaba sedimentos recolectados de 0.0001620ton y para P4 (suelo con Maíz y laboreo convencional) se calculó un valor de 0.000477 ton con el simulador de lluvia, este fue un valor más alto en comparación al P4 de las parcelas demostrativas, que tuvo un valor de 0.00019 ton.

Utilizando los dos métodos para predecir volumen de escorrentía, en las parcelas demostrativas suelen darse mayores valores debido a que los tamaños de las parcelas de investigación se elige de acuerdo a los objetivos a determinarse, ya que, para parcelas medianas tamaños $<200\text{m}^2$ (tamaño de parcelas demostrativas), son ideales para determinar y/o cuantificar pérdidas de suelo por efectos erosivos a largo plazo y el método del simulador de lluvia portátil, por clasificarse como parcela de tamaño pequeño $<10\text{m}^2$.

Es recomendado para investigación detallada de aspectos básicos de los procesos erosivos (entre ellos, erosión por impacto de las fuerzas de lluvia, transporte de partículas de suelo, formación de costras y láminas de selladuras superficial, estabilidad estructural de los suelos y cuantificación de procesos en términos relativos).

IX. CONCLUSIONES

1. Las propiedades físicas del área de estudio de las parcelas demostrativas, fueron las siguientes: Capacidad de Campo del 74% lo que implica que el contenido de agua capaz de retener el suelo luego de saturación es muy alto, porcentaje de humedad 30.7% fácilmente retenida por el tipo de textura del suelo, Densidad aparente del 1.066 gr/cm³ , Densidad real del 1.329 gr/cm³ clasificándose ambas densidades como baja, resultado de buena labranza y poca compactación, Porcentaje de porosidad del 19.79% indicando que el suelo es poco poroso, la textura del suelo franco arcilloso la cual no influyó en las pérdidas de suelo.

2. Se estimaron los factores que componen la ecuación USLE obteniendo valores constantes para el factor S (gradiente de la pendiente) con un valor de 0.079 y para el factor L (longitud de pendiente) de 0.77, estos valores varían a las dimensiones diferentes según el lugar, en este caso se consideran como valores bajos; con respecto al factor P (Prácticas de conservación de la erosión) fue igual a 1 para todos los tratamientos, puesto que no hubo prácticas de conservación de suelo en las parcelas.

3. Se obtuvieron dos valores del factor R (erosividad de la lluvia) para los meses de mayo y junio obteniendo resultados de 7.6511 MJ mm/ha-hr y 31.3798 MJ mm/ha-hr respectivamente, estos valores fueron muy influyentes en las pérdidas de suelos, ya que cuando mayores fueron las precipitaciones mayores fueron los sedimentos arrastrados.

4. Otros factores de la USLE como es el factor C (cultivo) se determinaron valores distintos según el tipo de cultivo, el valor más altos fue para P1 (suelos desnudos) con valores de 1, le sigue P3 0.5 , P4 0.32 y P2 0.017. Estos valores son

promedios que muestran el tipo de manejo del suelo y por tanto fueron utilizados para calcular K.

5. Los resultados del Factor K (erodabilidad del suelo), para el mes de mayo en los diferentes tratamientos fueron para P1 $7.79E-06$ ton/ha, P2 $2.04E-07$ ton/ha, P3 de $4.06E-06$ ton/ha y para P4 $2.03E-06$ ton/ha. En el caso para el mes de junio de igual forma se obtuvieron diferentes valores de K para los tratamientos con resultados de $2.38E-05$ ton/ha para P1, $1.92E-07$ ton/ha para P2, $6.81E-06$ ton/ha para P3 y $9.2E-06$ ton/ha para P4; este factor no fue muy influyente en las pérdidas de suelos en la investigación, puesto que presentan valores bajos de erodabilidad con respecto a los valores calculados en otras metodologías.

6. Los resultados del factor K (erodabilidad del suelo) utilizando el nomograma fue de 0.525 ton/ha/año, estas pérdidas son mayores que las obtenidas en las parcelas demostrativas, este método permite obtener K en pérdidas de suelos potenciales anuales.

7. Los sedimentos recolectados por medio del simulador de Lluvia muestran que para la Parcela 1 (suelos desnudos) fue de 141.375 gr, mientras que la parcela 2 (barbechos) no presentó escorrentía, asumiendo que la cobertura vegetal captó toda la cantidad de agua simulada aplicada. En tanto en la Parcela 3 se obtuvo una cantidad de sedimentos de 0.25 gr y en la parcela 4 se captó sedimentos de 2.55 gr, mostrando que en la parcela 1 (Tratamiento Testigo) se obtuvo la mayor captación de sedimentos recolectados en la dicha práctica.

8. Se acepta la hipótesis de investigación, se afirma que en los suelos del CEA-UNI existen pérdidas de suelo menores a 10 ton/ha para el mes de mayo; no así, en el mes de junio que se registraron pérdidas mayores a 10 ton/ha, debido a que en junio los eventos de lluvias fueron más continuos influyendo en mayores pérdidas de suelo.

X. RECOMENDACIONES

1. Continuar con investigaciones del Factor R y que se tomen en cuenta mayor número de meses de precipitaciones.
2. Para estudios posteriores aumentar el tamaño de las parcelas demostrativas, para obtener más resultados de pérdidas del suelo en correspondencia las dimensiones de calibración de factores de la USLE y así planificar prácticas de Conservación de suelos en el CEA-UNI.
3. Realizar mayor números de repeticiones con el simulador de lluvia para obtener valores comparativos

XI. BIBLIOGRAFÍA

- Alcázar Torralba, M. (2013). *Evaluación de la erosión hídrica en parcelas experimentales en campos agrícolas de secano mediterráneo*. Madrid.
- Boardman, J., Foster, I.D.L., & Dearing, J. (1990). *Soil Erosion on Agricultural Land*. John Wiley and Sons Ltd. Chichester.
- Boulaine, J. (1981). *La agrología*. Oikos-Tav. Barcelona.
- Brenes, R., & al., e. (2001.). *Evolución del coeficiente de escorrentía en campos agrícolas del centro de España con diferentes uso del suelo*. Madrid.
- Cairo, P. (1995). *La fertilidad física de los suelos y la agricultura orgánica en el trópico*. Managua.
- Cantón, Y., Solé-Benet, A., Domingo, F., Lázaro, R., & Puigdefábregas, J. (2001). *Análisis de los regímenes de humedad del suelo en el Sub-Desierto de Tabernas y su influencia en la escorrentía*. Andalucía.
- Castillo, V., Gómez-Plaza, A., Martínez Mena, M., & Albaladejo, J. (2000). *Respuesta hidrológica en los medios semiáridos: las cuencas experimentales en la Sierra de Picarcho*. Murcia.
- Cerdà, A. (2008). *Erosión y degradación del suelo agrícola en España*. Valencia.
- De Alba Alonso, S., Alcázar Torralba, M., Cermeño Martín, F. I., & Barbero Abolafio, F. (2011). *Soluciones sostenibles en ambientes mediterráneos*. España.
- De Alba, S. (1997). *Metodología para el estudio de la erosión en parcelas experimentales: relaciones*. España.
- De Alba, S., Benito, G., & González Pérez, A. (2002). *bitstream*. Obtenido de <http://digital.csic.es/bitstream/10261/83489/1/407509.pdf>

- De alba, S., Benito, G., & González Pérez, A. (2002). *Parcelas experimentales para el estudio de la erosión hídrica. Finca experimental la Higuieruela*. Madrid.
- Escobar Simones, E. A., & Mora Salinas, C. J. (2003). *Estudio de la micro cuenca Masaya-Granada evaluando su potencial hídrico subterráneo y contaminación para el desarrollo sostenible de la finca experimental FTC*. Managua.
- Faeth, P., & Crosson, P. (1994). *Building the case for sustainable agriculture*. USA.
- FAO. (1980). *Metodología provisional para la evaluación de la degradación de suelos. Serie Suelos*. Roma.
- FAO. (1983). *Mantengamos viva la Tierra: causas y remedios de la erosión del suelo*. Roma.
- FAO. (1988). *FAO-UNESCO. Soil Map of the World: revised legend. FAO World Soil Resources Reports nº60*. Rome.
- FAO. (1988). *Sistemas de labranza para la conservación del suelo y del agua*. Roma.
- FAO. (1989). *Leyenda del Mapa Mundial de Suelos de la FAO-UNESCO*. Roma.
- FAO. (2009). *Guía para la descripción de los suelos*. Roma.
- Finker, F. C., Gilley, J. E., & E, V. G. (1986). *Runoff an erosion as affected by sorghum and soybean residue. ASAE Summer Meeting*. San Luis Obispo.
- Fitzjohn, C., Ternan, J., & Williams, A. (1998). *Soil moisture variability in a semi-arid gully catchment: implications for runoff and erosion control*. Catena.
- Gonzales Espino, C. J., & Pozo Molina, G. J. (2007). *Evaluación de la erosión hídrica en el sistema productivo de café (coffeaarabica L.) de la finca El jardín y el efecto del uso y manejo de la tierra Quebrada del rio El cairo*. Managua.

- González Hidalgo, J. C. (1996). *Los índices de agresividad de la lluvia y su aplicación en la valoración de la erosión del suelo*. España.
- Green, R. T., Ahuja, L., & Benjamin, J. (2003). *Advances and challenges in predicting agricultural management effects on soil hydraulic properties*. USA.
- Guido, J. (1997). *Evaluación de los factores de la ecuación universal de pérdida de suelo en la microcuenca "D", de la cuenca sur del lago de Managua*. Managua.
- Gupta, S. C., Lowery, B., Moncrief, J. F., & Larson, W. E. (1991). *Modeling tillage effects on soil physical properties*. USA.
- Hernández Álvarez, O. J., & Moncada Ulloa, F. A. (2007). *Evaluación de la erosión hídrica en sistemas forestales y agroforestales promovidos por el POSAF en la microcuenca del río Dipilto (Nueva Segovia)*. Managua.
- Herrera Castro, E. M., & Herrera López, D. G. (2009). *Evaluación de la ecuación universal de pérdida de suelo municipio San José de los remates*. Managua.
- Hill, R. (1990). *Long-term conventional and no-tillage effects on selected soil physical properties*. USA.
- Hudson, N. W. (1957). *The design of field experiments on soil erosion*. USA.
- Hudson, N. W. (1971). *Soil Conservation*. Cornell Univ. Press. Ithaca. USA.
- INETER, & COSUDE. (2005). *EROSION HIDRICA; Mapas de Amenazas*. Managua.
- INETER, & INIDE. (2012). *Mapa de amenazas, vulnerabilidad y riesgos de las regiones de Nicaragua*. Nicaragua.
- Izaguirre Delgado, A. G., & Largaespada Mayorga, A. R. (2004). *Comparación para estimar escurrimiento y producción de sedimentos en la Microcuenca*

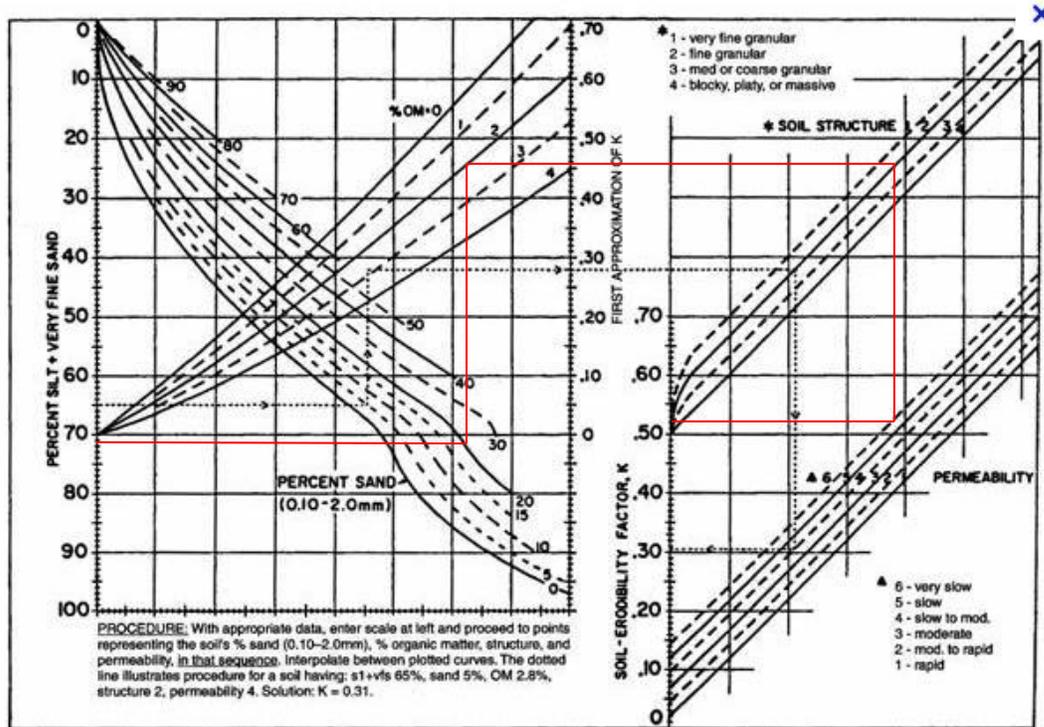
- 7, de la subcuenca III, de la cuenca sur del lago de Managua, Nicaragua.
Managua.
- JGRN. (1983). *Ley de protección de los suelos y control de la erosión*. Managua.
- Kirkby, M. J., & Morgan, R. P. (1991). *Erosión de Suelos*. USA.
- Lal, R. (1990). *Soil erosion in the Tropics*. USA.
- Logsdon, S., Kaspar, T., & Cambardella, C. (1999). *Depth-incremental soil properties under no-till or chisel management*. USA.
- López Bermúdez, F., & al, e. (1993). *Medidas de flujo de agua y sedimentos en parcelas experimentales*. España.
- LUCINDA. (2008). *Introducción general a la degradación de las tierras y la desertificación*. USA.
- MAGFOR, & INETER. (2010). *Uso potencial de la tierra, compendio mapas*.
Managua.
- Mannaerts, C. (1999). *Factores de erosión, Curso de postgrado en levantamiento de recursos hídricos*. Cochabamba.
- Mannering, J. V. (1981). *The use of soil loss tolerances as a strategy for soil conservation*. Mexico.
- MARENA, MIFIC, & MAGFOR. (2000). *Política ambiental de Nicaragua*.
Nicaragua.
- McCormack, D., Young, K., & Kimberlin, L. W. (1982). *Current Criteria for Determining soil loss tolerance*. En: Schmidt, R. R., Allmaras, J. V., Mannering, J. V. y Papendick, R. I. (Eds.), *Determinants of soil loss tolerance*. ASA Publication Nº 45. Ame. USA.
- McKyes, E. (1985). *Soil cutting and tillage*. Elsevier Science Publisher B. V. USA.
- Méndez Zelaya, N. A., & Espinoza Ortiz, S. V. (2008). *Evaluación hídrica en tres sistemas de cultivos vegetales en el municipio de Boaco*. Managua.

- Messing, I. J. (1993). *Temporal variation in the hydraulic conductivity of a tilled clay soil as measured by tension infiltrometers*. USA.
- Miller, J., Sweetland, N., Larney, F., & Volkmar, K. (1998). *Unsaturated hydraulic conductivity of conventional and conservation tillage soils in southern Alberta*. USA.
- Monge, R., & Aguilar, J. (2008). *Diseño de un simulador de lluvia portátil con fines didácticos y de investigación para la cuantificación de la infiltración, escorrentía y erosión*. Costa Rica.
- Moore, I., & Burch, F. (1986). *b. Physical basis of the length-slope factor in the Universal Soil Loss Equation*. Soil Sci. Soc. Am. USA.
- Moreira, J. M. (1991). *Capacidad de uso y erosión de suelos*. Agencia de Medio Ambiente de la Junta de Andalucía. Sevilla.
- Moret, D., & Arrúe, J. L. (2007). *Dynamics of soil hydraulic properties during fallow as affected by tillage*. USA.
- Morgan, R. P. (1986). *Soil erosion & Conservation*. Longman.
- Pimentel, D., et al. (1995). *Environmental and economic costs of soil erosion and conservation benefits*. USA.
- Radcliffe, D., Tollner, E., Hargrove, W., Clark, R., & Golabi, M. (1988). *Effect of tillage practices on infiltration and soil strength of a Typic Hapludult soil after 10 years*.
- Renard, K., Foster, G., Weesies, G., & Porter, J. (1991). *RUSLE – Revised universal soil loss equation*. J. Soil Water Conserv. USA.
- Schertz, D. (1983). *The basis for soil loss tolerances*. J. Soil Water Conserv. USA.
- Schmidt, B. L., Allmaras, R. R., Mannering, J. V., & Papendick, R. I. (1982). *Determonants of soil loss tolerance*. American Society of Agronomy-Soil Science Society of America. Madison.
- Schwab, G. F. (1990). *Ingeniería de conservacion de suelos y agua*. Mexico.

- Smith, R. M., & Stamley, W. L. (1965). *Determining the range of tolerable erosion*. SoCo. (2009). *Sustainable Agriculture and Soil Conservation* . Sevilla.
- Somarriba, M., Obando, M., & Beltrán, J. A. (2005). *Manual de métodos sencillos para estimar la erosión hídrica: basado en experiencias nacionales*. Managua.
- Suwardji, P., & Eberbach, P. (1998). *Seasonal changes of physical properties of an Oxic Paleustalf (Red Kandosol) after 16 years of direct drilling or conventional cultivation*. USA.
- Torralba, M. A. (2013). *Evaluación de la erosión hídrica en parcelas experimentales en campos agrícolas de secano mediterráneo*. Madrid.
- UNA, PASOLAC, & CIAT. (2005). *Manual de métodos sencillos para estimar la erosión hídrica*. Nicaragua.
- Wischmeier, & Mannering. (1969). *Relation of soil properties to its erodibility*. USA.
- Wischmeier, W. (1976). *A rainfall erosion index for Universal Soil Loss Equation*. *Soil Science Society Proc*. USA.
- Wischmeier, W., & Smith, D. D. (1978). *Predicting Rainfall Erosion Losses. A guide to conservation planning*. *Agriculture Handbook N°. 537*. USDA-SEA, US. Govt. Printing Office. Washington, DC.
- Zobeck, T. M., & Onstad, C. A. (1987). *Tillage and rainfall effects on random roughness; a review*. USA.
- Zuzel, J., Pikul, J., & Rasmussen, P. (1990). *Tillage and Fertilizer Effects on Water Infiltration*. USA.

XII. ANEXOS

Anexo 1: Calculo de K por medio del nomograma.



Fuente: <http://www.monografias.com/trabajos88/evaluacion-peligro-erosion-hidrica/image004.jpg>

Anexo 2: Velocidades y clases de infiltración.

| Tabla 3. Velocidades y Clases de Infiltración | | |
|---|---|------------------------|
| Velocidad de infiltración (minutos por centímetro) | Velocidad de infiltración (centímetros por hora) | Clases de infiltración |
| <1.18 | > 50.80 | Muy rápido |
| 1.18 – 3.94 | 15.24 – 50.80 | Rápido |
| 3.94 – 11.81 | 50.80 – 15.24 | Moderadamente rápido |
| 11.81 – 39.37 | 15.24 – 5.08 | Moderado |
| 39.37 – 118.11 | 5.08 – 1.52 | Moderadamente lento |
| 118.11 – 393.70 | 1.52 – 0.51 | Lento |
| 393.70 – 15,748.03 | 0.51 – 0.0038 | Muy lento |
| > 15,748.03 | < 0.0038 | Impermeable |

Ref: Donahue, R.L., R.W. Miller, J.C. shickluna. 1997.

Anexo 3: Tabla para el cálculo del Factor C.

| Cultivo y práctica | Media anual del factor C |
|---|--------------------------|
| Suelo desnudo | 1,0 |
| Bosque o matorral denso, cultivos con alto porcentaje de <i>mulch</i> | 0,001 |
| Sabana o pradera herbácea en buenas condiciones | 0,01 |
| Sabana o pradera herbácea sobrepastada | 0,1 |
| Maíz, sorgo o mijo: alto rendimiento con laboreo convencional | 0,20 – 0,55 |
| Maíz, sorgo o mijo: alto rendimiento sin laboreo convencional | 0,50 – 0,90 |
| Maíz, sorgo o mijo: bajo rendimiento con laboreo mínimo o no laboreo | 0,02 – 0,10 |
| Maíz, sorgo o mijo: alto rendimiento, laboreo con chisel entre residuos | 0,12 – 0,20 |
| Maíz, sorgo o mijo: bajo rendimiento, laboreo con chisel entre residuos | 0,30 – 0,45 |
| Algodón | 0,40 – 0,70 |
| Pradera herbácea | 0,01 – 0,025 |
| Soja | 0,20 – 0,50 |
| Trigo | 0,10 – 0,40 |
| Arroz | 0,10 – 0,20 |
| Cacahuete | 0,30 – 0,80 |
| Palmera, cafeto, cocotero, con cobertura vegetal | 0,10 – 0,30 |
| Piña cultivada a nivel, con retirada de residuos | 0,10 – 0,40 |
| Piña cultivada a nivel, con residuos en superficie | 0,01 |
| Patata, surcos según la pendiente | 0,20 – 0,50 |
| Patata, surcos transversales a la pendiente | 0,10 – 0,40 |
| Caupí (judía de vaca) | 0,30 – 0,40 |
| Fresa con cobertura de malas hierbas | 0,27 |
| Granado con cobertura de malas hierbas | 0,08 |
| Granado limpio de malas hierbas | 0,56 |
| Tef (<i>Eragrostis tef</i>) | 0,25 |
| Caña de azúcar | 0,13 – 0,40 |
| Ñame | 0,40 – 0,50 |
| Guisante de Angola | 0,60 – 0,70 |
| Judía mungo | 0,04 |
| Pimiento | 0,33 |
| Cafeto: después de la primera recolección | 0,05 |
| Plátano: después de su establecimiento | 0,05 – 0,10 |
| Papaya | 0,21 |

Wischmeier y Smith (1978); Roose (1977); Singh, Babu y Chandra (1981); El-Swaify, Dangler y Armstrong (1982); Hurni (1987); Hashim y Wong (1988).

Anexo 4: Indicaciones de la magnitud general del factor de la erodabilidad del suelo.

| Clase de textura | 0.5 por ciento | 2 por ciento | 4 por ciento |
|---------------------------|----------------|--------------|--------------|
| | K | K | K |
| Arena | 0.05 | 0.03 | 0.02 |
| Arena fina | 0.16 | 0.14 | 0.10 |
| Arena muy fina | 0.42 | 0.36 | 0.28 |
| Arena migajosa | 0.12 | 0.10 | 0.08 |
| Arena fina migajosa | 0.24 | 0.20 | 0.16 |
| Arena muy fina migajosa | 0.44 | 0.38 | 0.30 |
| Migajón arenoso | 0.27 | 0.24 | 0.19 |
| Migajón arenoso fino | 0.35 | 0.30 | 0.24 |
| Migajón arenoso muy fino | 0.47 | 0.41 | 0.33 |
| Migajón | 0.38 | 0.34 | 0.29 |
| Migajón limoso | 0.48 | 0.42 | 0.33 |
| Limo | 0.60 | 0.52 | 0.42 |
| Migajón arcilloso arenoso | 0.27 | 0.25 | 0.21 |
| Migajón arcilloso | 0.28 | 0.25 | 0.21 |
| Migajón arcilloso limoso | 0.37 | 0.32 | 0.26 |
| Arcilla arenosa | 0.14 | 0.13 | 0.12 |
| Arcilla limosa | 0.25 | 0.23 | 0.19 |
| Arcilla | | 0.13–0.29 | |

* Los valores que se indican son promedios estimados de escalas ampliadas de valores específicos del suelo. Cuando una textura se halla cerca de la línea límite de dos clases de texturas, utilícese el promedio de los dos valores K. Para suelos específicos, el uso de las tablas de valor K del Servicio de Conservación de Suelos o de la figura 2.6 proporcionará una exactitud mucho mayor. Tomado ARS, 1975.

Fuente: <https://riunet.upv.es/bitstream/handle/10251/15742/Trabajo%20fin%20de%20M%C3%A1ster.pdf?sequence=1>

Anexo 5: Clasificación de los suelos según el valor del PH.

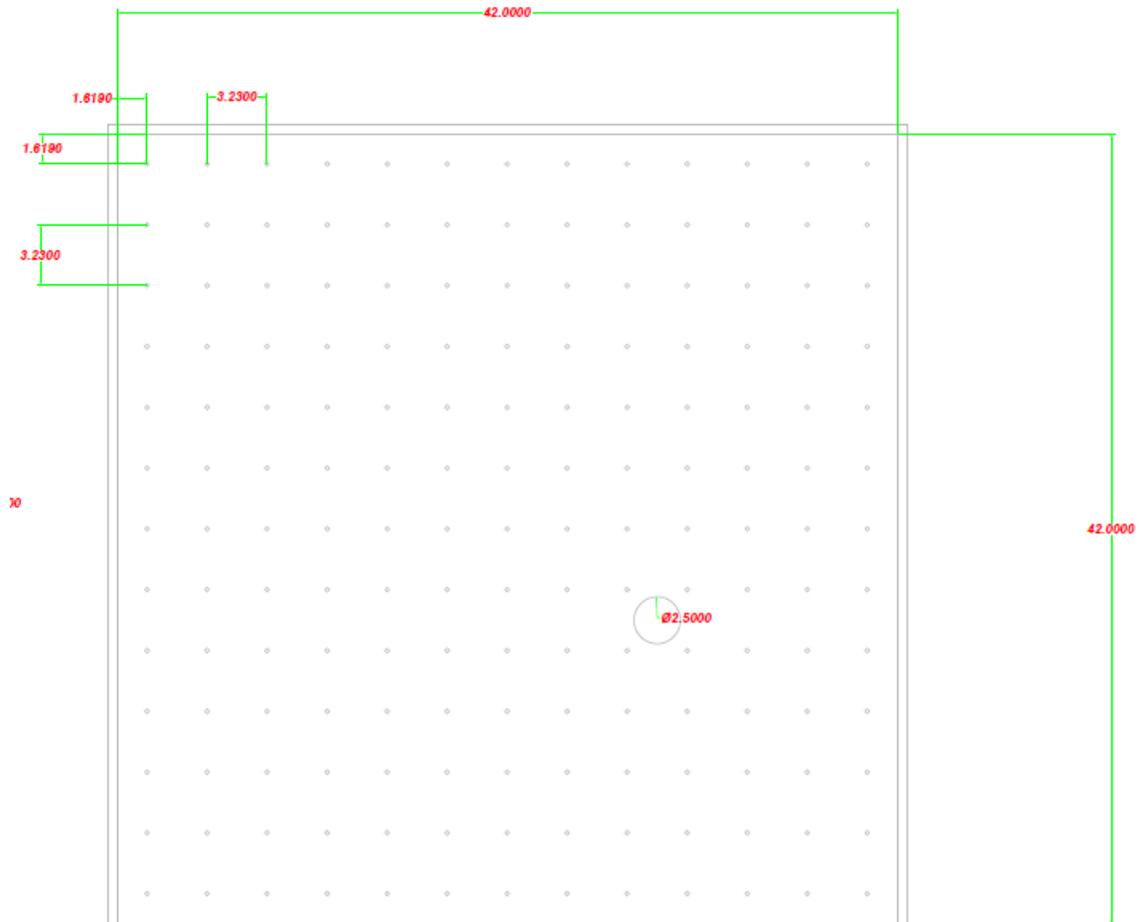
Clasificación de los suelos según el valor del pH (U.S.D.A.)

- El valor de pH varía entre 0 y 14
- En la mayoría de los suelos el valor de pH está comprendido entre 4,5 y 10

| | |
|-----------|----------------------|
| < 4,5 | extremadamente ácido |
| 4,5 – 5,5 | Fuertemente ácido |
| 5,6 – 6 | Medianamente ácido |
| 6,1 – 6,5 | Ligeramente ácido |
| 6,6 – 7,3 | Neutro |
| 7,4 – 7,8 | Medianamente básico |
| 7,9 – 8,4 | Básico |
| 8,5 – 9 | Ligeramente alcalino |
| 9,1 – 10 | Alcalino |
| > 10 | Fuertemente alcalino |

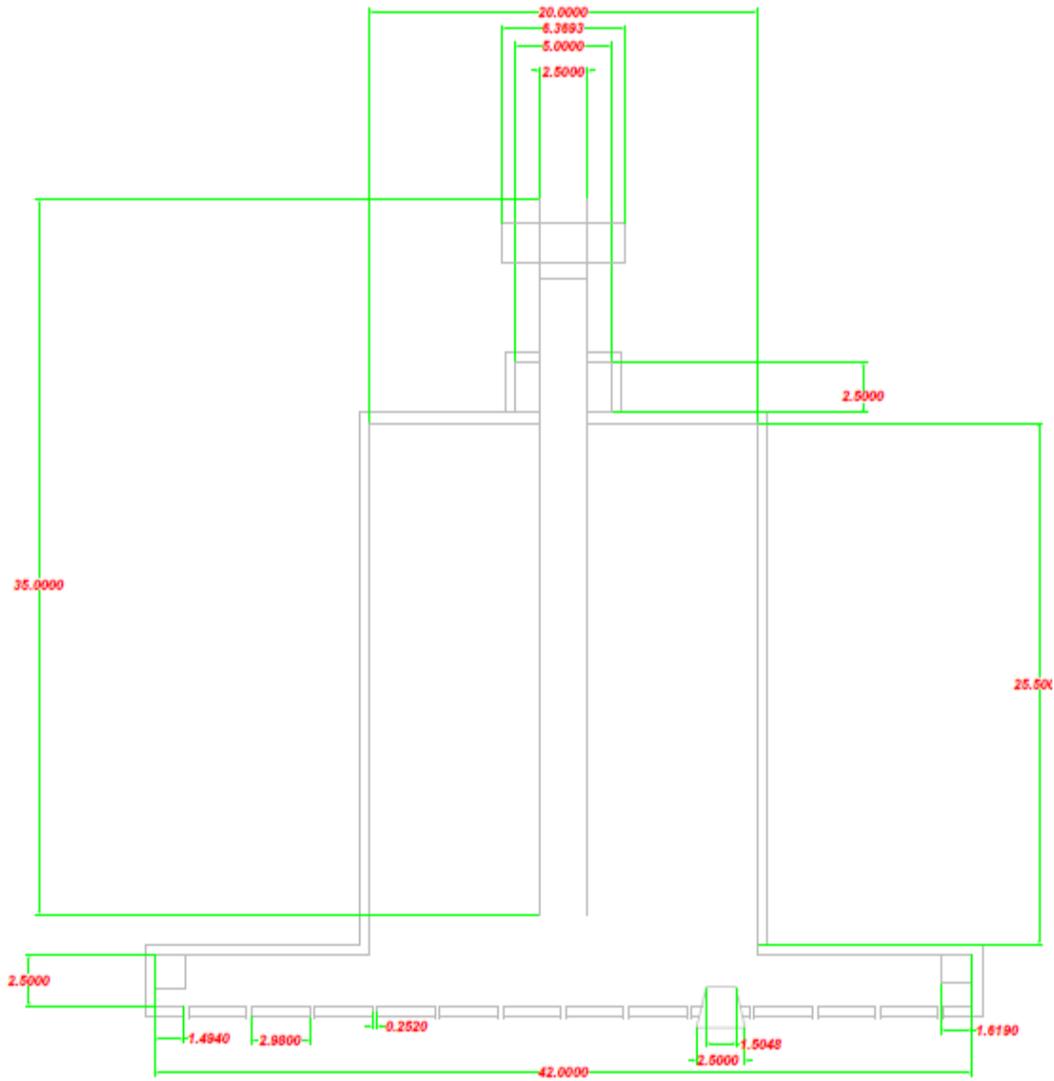
Fuente: <http://ph%20del%20suelo,%20sustratos%20y%20agua.htm>

Anexo 6: Vista de planta de diseño del simulador de lluvia



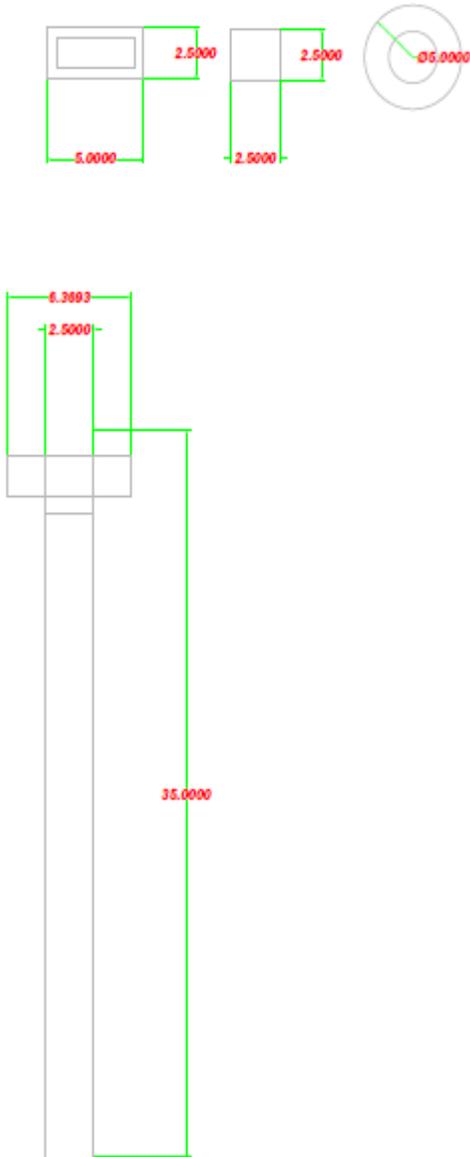
Fuente: Elaboración propia.

Anexo 7: Planos de diseño de la regadera del simulador de lluvia portátil.



Fuente: Elaboración propia.

Anexo 8: Diseño del tubo de aeración del simulador de lluvia portátil.



Fuente: Elaboración propia.

Anexo 9: simulador de lluvia portátil a intensidad máxima. Prueba del simulador previa al campo.



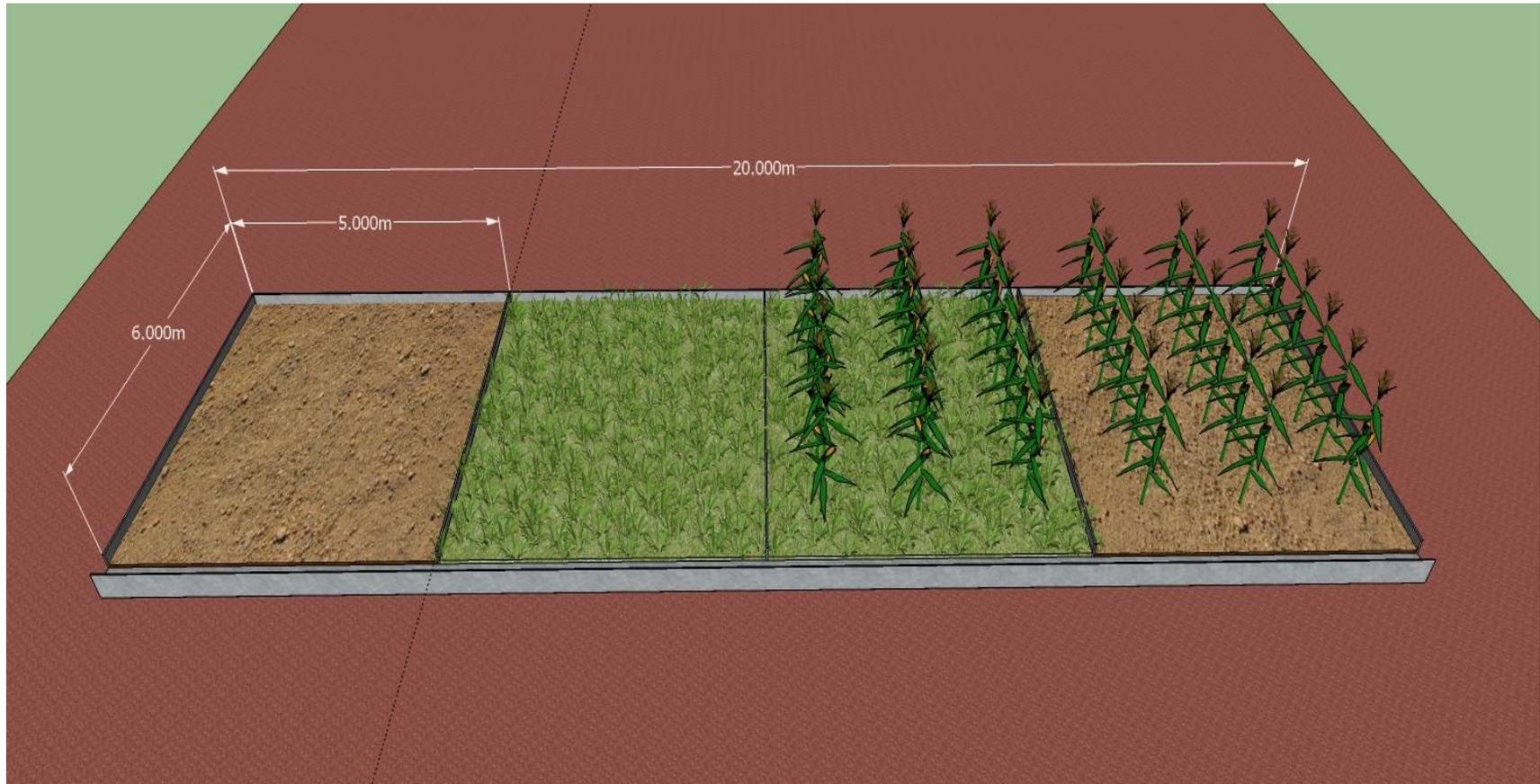
Fuente: Elaboración propia.

Anexo 10: simulador de lluvia portátil a intensidad mínima. Prueba del simulador previa al campo.



Fuente: Elaboración propia.

Anexo 11: Plano de las parcelas demostrativas con todos sus tratamientos.



Fuente: Elaboración propia.

Anexo 12: Delimitación del área de las parcelas demostrativas.



Anexo 13: Señalización en donde se situaron las parcelas demostrativas.



Anexo 14: Sitio en donde se ubicaron las paredes retenedoras.



Anexo 15: Instalación de las paredes retenedoras.



Anexo 16: Instalación del canal recolector.



Anexo 17: Instalación de la tubería hacia los recolectores.



Anexo 18: Plástico que protege a los recolectores de las precipitaciones y no altere los resultados.



Anexo 19: Datos climatológicos para el cálculo del factor R.

| INSTITUTO NICARAGÜENSE DE ESTUDIOS TERRITORIALES | | | | | | | | | | | | |
|--|-------------------------|-------|-------|------|-------|-------|------------|-----------------------|---------|-----------|-----------|--------|
| DIRECCIÓN GENERAL DE METEOROLOGÍA | | | | | | | | | | | | |
| RESUMEN METEOROLÓGICO ANUAL | | | | | | | | | | | | |
| Estación: | MASAYA (L. OXIDACION) / | | | | | | Código: | 690115 | | | | |
| Departamento: | | | | | | | Municipio: | MASAYA (L. OXIDACION) | | | | |
| Latitud: | 11°58'48" | | | | | | Longitud: | 86°06'18" | | | | |
| Años: | 2015 | | | | | | Elevación: | 210 msnm | | | | |
| Parámetro: | Precipitación (mm) | | | | | | Tipo: | HMO | | | | |
| Enero | Febrero | Marzo | Abril | Mayo | Junio | Julio | Agosto | Septiembre | Octubre | Noviembre | Diciembre | Suma |
| 0.4 | 0.0 | 0.1 | 53.6 | 78.3 | 308.4 | - | 74.9 | 159.7 | 227.5 | 120.6 | - | 1023.5 |

$$\text{➤ } R_{mes\ de\ mayo} = \frac{P_{mayo\ 2016}^2}{P_{2015}} * 17.02 = \frac{21.45^2}{1023.5} * 17.02 = 7.6511 \text{ MJ mm/ha-hr}$$

$$\text{➤ } R_{mes\ de\ junio} = \frac{P_{junio\ 2016}^2}{P_{2015}} * 17.02 = \frac{43.44^2}{1023.5} * 17.02 = 31.3798 \text{ MJ mm/ha-hr}$$

Anexo 20. Tabla para el cálculo del Factor P.

| Prácticas de conservación de suelos | Factor P |
|--|-----------------|
| En curvas de nivel (1 - 16% pendiente) | 0,60 |
| En curvas de nivel (15 - 25% pendiente) | 0,85 |
| Terrazas (desagües encespados) | 0,14 |
| Terrazas (desagües subterráneos) | 0,05 |
| Hoyos a nivel | 0,13 |
| Sin prácticas de conservación | 1,00 |

Fuente: Wischmeier & Smith, 1978.

Anexo 21. Clasificación de la Densidad Aparente.

| Rango de Da (gr/cm³) | Clasificación |
|--|----------------------|
| <1.0 | Muy Baja |
| 1.0-1.2 | Baja |
| 1.2-1.45 | Mediana |
| 1.45-1.60 | Alta |
| >1.60 | Muy alta |

Fuente: Pedro Cairo, 1995.

Anexo 22. Clasificación de la Densidad Real del suelo.

| Rango de Dr (gr/cm³) | Clasificación |
|--|----------------------|
| <2.40 | Baja |
| 2.40-2.60 | Mediana |
| 2.60-2.80 | Alta |
| >2.80 | Muy alta |

Fuente: Pedro Cairo, 1995.

Anexo 23. Evaluación de la porosidad del suelo.

| % de Poros | Clasificación |
|-------------------|----------------------|
| <40 | Muy Baja |
| 40-45 | Baja |
| 45-55 | Mediana |
| 55-65 | Alta |
| >65 | Muy alta |

Fuente: Pedro Cairo, 1995.

Anexo 24. Evaluación de la Capacidad de Campo.

| % de Volumen de la Capacidad de Campo | Evaluación |
|--|-------------------|
| <20 | Baja |
| 20-40 | Mediana |
| 40-55 | Alta |
| >55 | Muy alta |

Fuente: Pedro Cairo, 1995.

Anexo 25. Evaluación del Punto de Marchites Permanente.

| % PMP | Clasificación |
|--------------|----------------------|
| <9.2 | Bajo |
| 9.2-24.5 | Mediano |
| 24.5-45.8 | Alto |
| >45.8 | Muy alto |

Fuente: Pedro Cairo, 1995.

Anexo 26. Clasificación de acuerdo al contenido de Materia Orgánica presente en el suelo.

| M.O. % | Clasificación |
|---------------|----------------------|
| <0.6 | Extremadamente pobre |
| 0.6-1.2 | Pobre |
| 1.2-1.8 | Medianamente pobre |
| 1.8-2.4 | Mediano |
| 2.4-3.0 | Medianamente rico |
| 3.0-4.2 | Rico |
| >4.2 | Extremadamente rico |

Fuente: Pedro Cairo, 1995.

Anexo 27. Clasificación de K según su textura.

| Textura | Clase | K (Ton/ha/año) |
|-----------------|--------------|-----------------------|
| Textura fina | Baja | 0.05-0.15 |
| Textura gruesa | Baja | 0.05-0.2 |
| Textura mediana | moderada | 0.25-0.4 |

Fuente: Mannaerts, 1999.

Anexo 28. Clasificación de rangos típicos de R anual.

| <u>Clase</u> | <u>R (MJ/ha*mm/hr)</u> |
|-----------------|------------------------|
| <u>Muy baja</u> | <u>≤500</u> |
| <u>Baja</u> | <u>500-1000</u> |
| <u>Mediana</u> | <u>1000-3000</u> |
| <u>Alta</u> | <u>3000-6000</u> |
| <u>Muy alta</u> | <u>≥6000</u> |

Anexo 29. Valores de P mínimos para prácticas de contorno.

| <u>Altura entre surcos</u> | <u>Factor P mínimo</u> |
|----------------------------|------------------------|
| Muy baja | 0.5 |
| Baja | 0.3 |
| Moderado | 0.15 |
| Alto | 0.08 |
| Muy alto | 0.05 |

Fuente: Mannaerts, 1999.

Anexo 30: Resumen meteorológico anual.



INSTITUTO NICARAGÜENSE DE ESTUDIOS TERRITORIALES
DIRECCIÓN GENERAL DE METEOROLOGÍA
RESUMEN METEOROLÓGICO ANUAL

| | | | |
|----------------------|--------------------------------|-------------------|------------------------------|
| Estación: | MASAYA (L. OXIDACION) / | Código: | 690115 |
| Departamento: | | Municipio: | MASAYA (L. OXIDACION) |
| Latitud: | 11°58'48" | Longitud: | 86°06'18" |
| Años: | 1977-2015 | Elevación: | 210 msnm |
| Parámetro: | Precipitación (mm) | Tipo: | PV |

| Año | Enero | Febrero | Marzo | Abril | Mayo | Junio | Julio | Agosto | Septiembre | Octubre | Noviembre | Diciembre | Suma |
|------|-------|---------|-------|-------|-------|-------|-------|--------|------------|---------|-----------|-----------|---------|
| 1977 | | | | | | | | | 193.2 | 167.9 | 59.5 | 3.1 | 423.7 |
| 1978 | 0.2 | 0.0 | 0.5 | 10.7 | 167.4 | 155.4 | 212.1 | 162.1 | 166.2 | 216.8 | 9.1 | 13.0 | 1,113.5 |
| 1979 | 11.0 | 0.0 | 3.1 | 14.1 | 117.0 | 251.1 | | 279.0 | 337.4 | 363.0 | 86.2 | 32.2 | 1,494.1 |
| 1980 | 8.7 | 1.0 | 3.6 | 0.0 | 175.5 | 179.5 | 143.5 | 196.4 | 261.1 | 165.2 | 253.9 | | 1,388.4 |
| 1981 | 0.5 | 1.5 | 27.9 | 4.7 | 326.9 | 266.4 | 111.9 | 293.0 | 275.5 | 371.0 | 24.7 | 6.6 | 1,710.6 |
| 1982 | 32.0 | 10.1 | 1.0 | 34.1 | 535.8 | 232.2 | 135.0 | 87.7 | 300.8 | 142.8 | 15.7 | 3.8 | 1,531.0 |
| 1983 | 1.5 | 3.3 | 6.0 | 8.1 | 21.7 | 182.9 | 231.5 | 187.1 | 206.5 | 269.6 | 75.0 | 11.0 | 1,204.2 |
| 1984 | 4.3 | 1.5 | 3.7 | 3.8 | 40.8 | 280.4 | 275.8 | 170.6 | 427.0 | 113.7 | 12.6 | 9.9 | 1,344.1 |
| 1985 | 5.9 | 3.7 | 0.2 | 7.9 | 151.8 | 112.1 | 130.8 | 156.0 | 100.6 | 380.9 | 76.1 | 16.3 | 1,142.3 |
| 1986 | 1.0 | 10.5 | 0.0 | 0.0 | 164.2 | 170.8 | 92.2 | 129.1 | 106.9 | 165.5 | 59.4 | 12.9 | 912.5 |
| 1987 | 1.6 | 0.0 | 1.5 | 0.0 | 132.6 | 188.3 | 359.5 | 223.5 | 229.4 | 265.1 | 24.3 | 31.3 | 1,457.1 |
| 1988 | 7.9 | 4.2 | 0.0 | 0.6 | 131.3 | 411.7 | 165.2 | 416.0 | 316.1 | 433.7 | 50.6 | 25.5 | 1,962.8 |
| 1989 | 10.8 | 10.7 | 1.6 | 0.0 | 138.8 | 126.4 | 188.0 | 171.6 | 316.9 | 123.5 | 112.9 | 58.9 | 1,260.1 |
| 1990 | 6.0 | 3.9 | 1.5 | 10.9 | 266.4 | 136.5 | 180.1 | 115.6 | 176.0 | 175.6 | 92.4 | 33.2 | 1,198.1 |
| 1991 | 1.2 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 223.4 | 379.2 | 64.6 | 134.1 | 214.4 | 119.3 | 71.9 | 21.7 | 1,229.8 |
| 1992 | 1.4 | 0.0 | 0.8 | 0.1 | 84.6 | 251.6 | 155.6 | 49.7 | 202.7 | 134.3 | 8.0 | 15.2 | 904.0 |
| 1993 | 49.8 | 0.0 | 0.0 | 26.0 | 364.1 | 184.2 | 68.3 | 260.0 | 306.7 | 103.0 | 52.8 | 2.5 | 1,417.4 |
| 1994 | 1.4 | 7.2 | 5.6 | 75.7 | 94.8 | 99.5 | 54.3 | 100.5 | 126.4 | 376.8 | 187.7 | 2.3 | 1,132.2 |
| 1995 | 1.4 | 0.0 | 29.3 | 125.5 | 58.3 | 347.8 | 106.8 | 330.4 | 255.3 | 314.2 | 44.7 | 22.8 | 1,636.5 |
| 1996 | 35.0 | 0.0 | 24.2 | 0.7 | 230.4 | 212.8 | 245.9 | 155.4 | 344.1 | 303.7 | 201.0 | 3.0 | 1,756.2 |
| 1997 | 19.3 | 1.2 | 10.3 | 55.1 | 71.4 | 267.8 | 52.4 | 88.2 | 171.8 | 297.9 | 77.5 | 4.9 | 1,117.8 |
| 1998 | 0.0 | 0.1 | 0.0 | 0.0 | 97.0 | 91.9 | 149.0 | 180.5 | 372.8 | 611.4 | 101.3 | 10.0 | 1,614.0 |
| 1999 | 15.7 | 14.5 | 2.5 | 11.9 | 131.5 | 193.3 | 219.6 | 167.7 | 374.8 | 200.3 | 66.2 | 10.4 | 1,408.4 |
| 2000 | 27.5 | 2.3 | 1.8 | 15.8 | 80.7 | 228.8 | 82.3 | 118.4 | 487.4 | 97.1 | | | 1,142.1 |
| 2001 | 2.3 | 5.9 | 0.0 | 0.3 | 174.2 | 142.2 | 139.0 | 242.9 | 328.5 | 216.3 | 63.7 | 4.2 | 1,319.5 |
| 2002 | 5.3 | 1.3 | 1.6 | 6.7 | 375.8 | 213.5 | 130.8 | 59.8 | 178.0 | 128.3 | 51.7 | 0.9 | 1,153.7 |
| 2003 | 0.2 | 0.9 | 38.3 | 3.2 | 319.1 | 501.0 | 168.6 | 118.8 | 143.9 | 270.7 | 82.6 | 10.6 | 1,657.9 |



INSTITUTO NICARAGÜENSE DE ESTUDIOS TERRITORIALES
DIRECCIÓN GENERAL DE METEOROLOGÍA
RESUMEN METEOROLÓGICO ANUAL

Estación: **MASAYA (L. OXIDACION) /**
 Departamento:
 Latitud: **11°58'48"**
 Años: **1977-2015**
 Parámetro: **Precipitación (mm)**

Código: **690115**
 Municipio: **MASAYA (L. OXIDACION)**
 Longitud: **86°06'18"**
 Elevación: **210 msnm**
 Tipo: **PV**

| Año | Enero | Febrero | Marzo | Abril | Mayo | Junio | Julio | Agosto | Septiembre | Octubre | Noviembre | Diciembre | Suma |
|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|--------------|-----------------|
| 2004 | 9.7 | 1.8 | 6.5 | 6.8 | 235.2 | 125.3 | 194.4 | 109.1 | 215.1 | 218.4 | 44.4 | 4.1 | 1,170.8 |
| 2005 | 0.0 | 0.4 | 28.7 | 53.4 | 318.1 | 394.6 | 206.5 | 187.0 | 315.7 | 260.8 | 39.5 | 7.1 | 1,811.8 |
| 2006 | 19.7 | 3.0 | 4.6 | 13.2 | 241.4 | 129.0 | 124.7 | 67.4 | 137.7 | 171.4 | 80.4 | 4.2 | 996.7 |
| 2007 | 0.5 | 1.7 | 0.0 | 4.3 | 200.1 | 113.6 | 85.7 | 393.0 | 218.6 | 314.4 | 113.9 | 29.2 | 1,475.0 |
| 2008 | 6.4 | 0.3 | 0.5 | 6.2 | 363.9 | 118.5 | 290.9 | 388.6 | 332.8 | 406.6 | 34.4 | 11.1 | 1,960.2 |
| 2009 | 1.1 | 0.4 | 0.0 | 1.9 | 265.8 | 266.1 | 136.5 | 161.0 | 144.9 | 287.2 | 23.8 | 14.3 | 1,303.0 |
| 2010 | 1.5 | 0.1 | 0.0 | 35.2 | 231.3 | 324.0 | 321.1 | 539.5 | 398.3 | 110.6 | 49.8 | 3.6 | 2,015.0 |
| 2011 | 2.6 | 0.0 | 0.0 | 2.0 | 83.3 | 216.4 | 391.3 | 150.9 | 467.8 | 317.7 | 60.7 | 30.8 | 1,723.5 |
| 2012 | 8.6 | 3.9 | 0.7 | 9.5 | 319.5 | 142.4 | 85.6 | 338.8 | 130.7 | 181.0 | 12.8 | 12.2 | 1,245.7 |
| 2013 | 3.9 | 3.1 | 1.8 | 0.0 | 169.3 | 200.3 | 223.2 | 67.7 | 299.4 | 257.3 | 93.1 | 25.1 | 1,344.2 |
| 2014 | 12.3 | 3.4 | 0.0 | 0.0 | 59.3 | 119.5 | 46.7 | 158.4 | 315.8 | 389.7 | 26.3 | 5.0 | 1,136.4 |
| 2015 | 0.4 | 0.0 | | | | | | | | | | | 0.4 |
| Suma | 318.6 | 101.9 | 207.8 | 548.4 | 7,162.7 | 7,957.0 | 5,969.4 | 7,155.5 | 9,897.2 | 9,442.7 | 2,540.6 | 512.9 | 51,814.7 |
| Media | 8.4 | 2.7 | 5.6 | 14.8 | 193.6 | 215.1 | 165.8 | 193.4 | 260.5 | 248.5 | 68.7 | 14.2 | 1,328.6 |
| Max | 49.8 | 14.5 | 38.3 | 125.5 | 535.8 | 501.0 | 391.3 | 539.5 | 487.4 | 611.4 | 253.9 | 58.9 | 2,015.0 |
| Min | 0.5 | 0.9 | 0.5 | 0.6 | 21.7 | 91.9 | 46.7 | 49.7 | 100.6 | 97.1 | 8.0 | 0.9 | 0.4 |

Anexo 31: Factor de erosividad medios mensual, elaborados con el registro total de las precipitaciones (serie 1977-2015).

| MESES | ENE | FEB | MAR | ABR | MAY | JUN | JUL | AGO | SET | OCT | NOV | DIC |
|---|--------|--------|--------|---------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|---------|---------|
| PRECIPITACION MEDIA ANUAL | 8.3842 | 2.6816 | 5.4711 | 15.8421 | 190.5526 | 217.5105 | 165.8167 | 190.2737 | 257.8692 | 247.9538 | 70.0316 | 14.2472 |
| FACTOR EROSIVIDAD (R) EC. INDICE DE FORNIER | 0.8831 | 0.0903 | 0.3760 | 3.1529 | 456.1517 | 594.3469 | 345.4107 | 454.8172 | 835.3693 | 772.3624 | 61.6123 | 2.5500 |

Fuente: Elaboración Propia.