

Evaluación del Efecto de la Cobertura del Cultivo de Papa
(Solannum tuberosum L.) y del Pasto Kikuyo
Pennisetum clandestinum H. sobre la Erosión de los Suelos bajo
Prácticas Agronómicas de Manejo Comunmente Aplicadas
en la Región Andina Venezolana

por

Uriel Pérez G.

www.bdigital.ula.ve



Centro de Estudios de Postgrado
FACULTAD DE CIENCIAS FORESTALES
UNIVERSIDAD DE LOS ANDES
MERIDA - VENEZUELA

1989

www.bdigitalula.ve

*A mis Padres
Mi Esposa
mis amigos*

AGRADECIMIENTO

A todas aquellas personas e instituciones que de una u otra manera hicieron posible la realización del presente trabajo y muy especialmente:

Al Dr. Roberto López, bajo cuya dirección se realizó este trabajo de investigación, por su permanente asesoramiento durante todas las etapas del mismo; a los asesores Ing. MSc. Edgar Hernández, por su apoyo personal y académico; al Ing. MSc. Rafael Useche, al Dr. Hervé Jegat quienes dieron su apoyo durante el establecimiento del presente trabajo y al Dr. Marcelino Quijada, por su asesoramiento en la parte estadística.

A el Ing. MSc. Edgar Romero y al Ing. MSc. Ciro Dávila, por su colaboración y sus valiosas sugerencias durante la instalación del experimento y la toma de datos en el campo.

Al Ing. Jorge Pereira y al personal del Laboratorio de la Escuela de Geografía, por la colaboración en el procesamiento y análisis realizados a las muestras.

Al Centro de Estudios de Postgrado de la Universidad de los Andes, por haber hecho posible la realización y culminación de esta etapa en mis estudios de formación profesional.

A la dirección y personal técnico del Instituto de Investigaciones Agropecuarias de la Universidad de los Andes en cuyos terrenos se realizó la investigación.

INDICE

	Pág.
AGRADECIMIENTO	iii
LISTA DE TABLAS	viii
LISTA DE FIGURAS	xiii
RESUMEN	xiv
 Capítulo	
I. INTRODUCCION	1
Importancia	1
Justificación	3
Objetivos	4
 II. REVISION DE LITERATURA	 6
La Erosión de los Suelos, su Importancia y Factores que la Afectan	6
Medición de la Pérdida de Suelo	13
Parcelas de Erosión	14
Modelos de Predicción y Estimación de la Pérdida de Suelo. La Ecuación Universal de Pérdida de Suelo, "EUPS"	16
La Ecuación Universal de Pérdida de Suelo	17
Aplicabilidad y Limitaciones de la EUPS	20
Uso y Manejo de la Vegetación en el Control de la Erosión	23
El Factor Cobertura y Manejo de la Ecuación Universal de Pérdida de Suelo, "EUPS"	24
Pérdida de Nutrientes por Erosión	30
 III. MATERIALES Y METODOS	 35
Localización y Características del Area Bajo Estudio	35
Ubicación y Clima	35
Suelos	38

INDICE (Continuación)

	Pág.
Clasificación de las Tierras por su Capacidad de Uso	39
Explotación Tradicional de la Tierras	39
Características de los Cultivos Incluidos en la Evaluación, Manejo y Prácticas de Común Aplicación en la Zona	39
Papa	39
Pasto kikuyo	42
Tratamientos, Materiales, Equipos y Métodos de Evaluación Utilizados en la Investigación	43
Instalación de las Parcelas	43
Materiales y Equipos	47
Materiales	47
Equipos	48
Descripción de los Tratamientos	49
Métodos de Evaluación	52
Medición y Evaluación de las Pérdidas de Suelo y Escurrimiento	54
Estimación de las Pérdidas de Suelo y Caracterización del Efecto de la Cobertura y Manejo de los Cultivos a Través de la EUPS	55
Factor R, Precipitación y Escorrentía	55
Factor K, Erosionabilidad del Suelo	57
Factor LS, Longitud e Inclinación de la Pendiente	58
Factor C, Cobertura y Manejo de Cultivo	58
Factor P, Prácticas de Medidas de Lucha Contra la Erosión	60
Evaluación de las Pérdidas de Nutrientes Arrastrados en los Sedimentos	61
Evaluaciones Complementarias de las Propiedades Físicas y Químicas de los Suelos	61
Análisis Estadístico	63
IV. RESULTADOS Y DISCUSION	64

INDICE (Continuación)

	Fág.
Resultados	64
Evaluación de la Cobertura Vegetal a Través del Ciclo de los Cultivos	64
Resultados Obtenidos de la Medición de las Pérdidas de Suelo y el Escurrimiento como Producto de la Erosión de los Suelos	65
Escurrimiento	67
Pérdida de Suelo	70
Pérdida de Materia Orgánica y Nutrientes Arrastrados en los Sedimentos	73
Análisis de Varianza y Prueba de Significación de Duncan	75
Escurrimiento	75
Pérdida de Suelo	77
Pérdida de Materia Orgánica y Nutrientes Arrastrados en los Sedimentos	78
Correlaciones Entre las Variables Evaluadas ...	79
Escurrimiento	82
Pérdida de Suelo	87
Rendimientos de Papa y Pasto	94
Estimación de la Pérdida de Suelo a Través de la EUPS, Determinación de los Factores	96
Factor R	96
Factor K	97
Factor LS	100
Factor C	101
Pérdidas de Suelo Estimada Mediante el Uso de la EUPS y su Comparación con los Valores Medidos en el Campo.....	104
Discusión de Resultados	106
V. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	110

INDICE (Continuación)

	Pág.
VI. LITERATURA CITADA	113
Apéndice	
A. Características Físicas y Químicas	123
B. Información Climática	131
C. Datos Obtenidos en el Campo	134
D. Análisis Estadístico	136

www.bdigital.ula.ve

LISTA DE TABLAS

Tabla	Pág.
1. Pérdida de Suelo y Escurrimiento en Parcelas Bajo Diferentes Coberturas en Campiña, Brasil, con Precipitación Promedio Anual de 1300 mm y Pendientes Entre 10 y 12 por Ciento (Suarez, 1982)	25
2. Valores de "C" (adaptados por López, 1988, de Wischmeier y Smith, 1965, 1978).....	27
3. Valores de "C" para Algunas Condiciones de Africa Occidental (Roose, 1977)	29
4. Distribución de las Aplicaciones de Productos Químicos para el Cultivo de Papa	46
5. Descripción de los Tratamientos Ubicados en Suelo Clasificado como Humitropept típico con una Pendiente de 9%	50
6. Valores de Cobertura (%) y Altura (cm) del Dosel Alcanzado por los Cultivos Papa y Pasto en Cada una de las Etapas Evaluadas	65
7. Cantidad Promedio de tres repeticiones de Escurrimiento, de Sedimento y de Nutrimientos Producidos por Tratamiento en cada una de las Etapas Evaluadas	66
8. Escurrimiento Acumulado en mm y en Porcentaje del Total de Precipitación Caída (876,30 mm) en el Período (29 de Agosto al 24 de Noviembre) para Cada Tratamiento	70
9. Pérdida Total de Suelo en t/ha para Cada Tratamiento	73
10. Análisis de Varianza, en Relación a los Tratamientos Practicados de las Variables Escurrimiento Pérdida de Suelo y Nutrimientos. Resumen para las Etapas Evaluadas y el Período Total de Investigación	76
11. Pruebas de Significación de Duncan, Variables Escurrimiento y Pérdida de Suelo y de Nutrimientos. Resumen para las Etapas Evaluadas y el Período Total de Investigación	76
12. Correlaciones Significativas de Pérdida de Suelo (g/parcela) y Escurrimiento (L/parcela) con Preci-	

LISTA DE TABLAS (continuación)

Tabla	Pág.
pitación (mm), Intensidad (mm/h), Erosividad de la Precipitación (EI_{30}) y Escurrimiento; Bajo Condiciones Especificas de Uso de la Tierra Durante Tres Etapas de Crecimiento Evaluadas y en el Período Total de Investigación. IIAP-ULA, Edo. Mérida.	80
13. Regresiones Significativas de Escurrimiento (L/parcela) y Pérdida de Suelo (g/parcela) en Función de Precipitación (mm), Intensidad (mm/h), Erosividad de la Precipitación (EI_{30}) y Escurrimiento (L/parcela); Bajo Tres Tratamientos Durante el Período Total de Investigación. IIAP-ULA, Edo. Mérida.	81
14. Producción de Papa y Pasto (Materia Verde) en kg/parcelas por Repetición	95
15. Rendimiento de Papa y Pasto (Material Verde) en	95
16. Determinación del Factor K, Erosionabilidad de la EUPS.	99
17. Determinación del Factor LS, Topográfico de la EUPS	100
18. Valores del Factor C para cada una de las Etapa Evaluadas y el Período Total de Investigación. Determinados a Través de la Relación de la Pérdida de Suelo Ocurrida en el Tratamiento Testigo y los Tratamientos Papa y Pasto	101
19. Determinación del Factor C para los Cultivos Papa y Pasto	102
20. Comparación de los Valores de Pérdida de Suelo Estimados a Través de la EUPS y Aquellos Medidos en el Campo	104
A1. Descripción del Perfil Típico (Romero, 1980)	124
A2. Análisis de Calicata; Laboratorio de Suelos, Escuela de Geografía, Universidad de los Andes. Romero (1980)	126
A3. Análisis de Características Físicas para la Determinación del Factor K de la EUPS	127

LISTA DE TABLAS (continuación)

Tabla	Pág.
A4. Densidad Aparente "da"	127
A5. Prueba de Estabilidad Estructural	128
A6. Análisis Químico de Suelos Realizados por Etapas para Deteminar las Pérdidas de Nutrimentos en cada uno de los Tratamientos Considerados en la Investigación. Laboratorio de Suelos, Escuela de Geografía, Universidad de los Andes	129
A7. Análisis Químico Realizado para Determinar los Niveles de Fertilidad de los Suelos, para el Momento de la Instalación del Ensayo.	130
B1. Distribución Mensual de Precipitación, Promedio de 22 años (1967-1988) y Período de Observación(1988) Estación Experimental "Santa Rosa". Mérida	132
B2. Precipitación: Intensidades (I_{30}) e Índices de Erosividad (EI_{30}) Calculados	133
C1. Totales Promedios por Parcela (Tres Repeticiones) de la Cantidad de Sedimentos y el Volumen de Escurrimiento para Cada Observación Durante las Etapas Evaluadas	135
D1. Análisis de Varianza, Variable Dependiente Escurrimiento (L). Primera Etapa	137
D2. Análisis de Varianza, Variable Dependiente Escurrimiento (L). Segunda Etapa	137
D3. Análisis de Varianza, Variable Dependiente Escurrimiento (L). Tercera Etapa	137
D4. Análisis de Varianza, Variable Dependiente Escurrimiento (L). Período Total de Investigación	137
D5. Discriminación de Medias Según el Método de Duncan para el Escurrimiento (L/parcela), Bajo Condiciones Especificas de Uso de la Tierra, Durante Tres Etapas de Crecimiento y para el Total del Período de Investigación	138
D6. Análisis de Varianza, Variable Dependiente Pérdida	

LISTA DE TABLAS (continuación)

Tabla	Pág.
de Suelo (g). Primera Etapa	139
D7. Análisis de Varianza, Variable Dependiente Pérdida de Suelo (g). Segunda Etapa	139
D8. Análisis de Varianza, Variable Dependiente Pérdida de Suelo (g). Tercera Etapa	139
D9. Análisis de Varianza, Variable Dependiente Pérdida de Suelo (g). Periodo Total de Investigación	139
D10. Discriminación de Medias Según el Método de Duncan para la Pérdida de Suelo (g/parcela), Bajo Condiciones Específicas de Uso de la Tierra, Durante Tres Etapas de Crecimiento y para el Total del Periodo de Investigación	140
D11. Análisis de Varianza, Variable Dependiente Pérdida de Materia Orgánica (kg/ha). Primera Etapa	141
D12. Análisis de Varianza, Variable Dependiente Pérdida de Materia Orgánica (kg/ha). Segunda Etapa	141
D13. Análisis de Varianza, Variable Dependiente Pérdida de Materia Orgánica (kg/ha). Tercera Etapa	141
D14. Análisis de Varianza, Variable Dependiente Pérdida de Materia Orgánica (kg/ha). Periodo Total de Investigación	141
D15. Discriminación de Medias Según el Método de Duncan para la Pérdida de Materia Orgánica (kg/ha), Bajo Condiciones Específicas de Uso de la Tierra, Durante Tres Etapas de Crecimiento y para el Total del Periodo de Investigación	142
D16. Análisis de Varianza, Variable Dependiente Pérdida de N Total (kg/ha). Primera Etapa	143
D17. Análisis de Varianza, Variable Dependiente Pérdida de N Total (kg/ha). Segunda Etapa	143
D18. Análisis de Varianza, Variable Dependiente Pérdida de N Total (kg/ha). Tercera Etapa	143

LISTA DE TABLAS (continuación)

Tabla	Pág.
D19. Análisis de Varianza, Variable Dependiente Pérdida de N Total (kg/ha). Período Total de Investigación	143
D20. Discriminación de Medias Según el Método de Duncan para la Pérdida de Nitrógeno total (kg/ha), Bajo Condiciones Específicas de Uso de la Tierra, Durante Tres Etapas de Crecimiento y para el Total del Período de Investigación	144
D21. Análisis de Varianza, Variable Dependiente Pérdida de P Soluble (kg/ha). Primera Etapa	145
D22. Análisis de Varianza, Variable Dependiente Pérdida de P Soluble (kg/ha). Segunda Etapa	145
D23. Análisis de Varianza, Variable Dependiente Pérdida de P soluble (kg/ha). Tercera Etapa	145
D24. Análisis de Varianza, Variable Dependiente Pérdida de P soluble (kg/ha). Período Total de Investigación	145
D25. Discriminación de Medias Según el Método de Duncan para la Pérdida de Fósforo soluble (kg/ha), Bajo Condiciones Específicas de Uso de la Tierra, Durante Tres Etapas de Crecimiento y para el Total del Período de Investigación	146

LISTA DE FIGURAS

Figura	Pág.
1. Localización de la Estación Experimental "Santa Rosa", Donde se Realizó la Investigación	36
2. Distribución Mensual de la Precipitación Promedio de 22 Años (1967-1988) y del Período de Observación (1988). Estación "Santa Rosa", IIAP - ULA. Mérida	37
3. Vista General del Area Experimental que Muestra Ubiación y Características de las Parcelas de Erosión. IIAP-ULA. Mérida	44
4. Ubicación de los Tratamientos y sus Repeticiones. En orden desde el Primer Plano Estan: Testigo, Pasto, Papa, testigo, Pasto, Testigo, Papa, Papa y Testigo	51
5. Escurrimiento Acumulado en mm para los Tratamientos Testigo, Papa y Pasto	69
6. Pérdida de Suelo Acumulada en t/ha para los Tratamientos Testigo, Papa y Pasto	72
7. Pérdidas Totales de Nutrientos en los Sedimentos Arrastrados Bajo Condiciones Específicas de Uso de la Tierra Durante el Período de Investigación	74
8. Gráfico de Regresión de Escurrimiento Vs Variable Independiente de Mejor Ajuste en Cada uno de los Tres Tratamientos Considerados: a) Testigo, b)Papa y c)Pasto.	86
9. Gráfico de Regresión de Pérdida de Suelo Vs Variable Independiente de Mejor Ajuste en Cada uno de los Tres Tratamientos Considerados: a)Testigo, b)Papa y c)Pasto.	93
10. Distribución Acumulada del Índice de Erosividad de la Precipitación Durante el Período de Investigación (Agosto-Noviembre 1988).	98
A9. Curvas de Infiltración Acumulada (D), media (Im) e instantanea (Ii)	130



RESUMEN

El presente trabajo tuvo como objetivo principal evaluar la variación en las pérdidas de suelo ocasionadas por erosión hídrica, en función de la cobertura y manejo característico de dos cultivos típicos de la zona Andina: papa y pasto kikuyo. Mediciones directas de las pérdidas de suelo en el campo, fueron contrastadas con valores estimados a través de la Ecuación Universal de Pérdida de Suelo (Wischmeier y Smith, 1978). El grado de efectividad de la cobertura y manejo considerados fueron evaluados a través del factor C de la mencionada ecuación.

El experimento se realizó en suelo clasificado como Humitropept típico, esquelético - franco, mixto e isotérmico (Romero, 1980), en tierras de la Estación Experimental "Santa Rosa" del Instituto de Investigaciones Agropecuarias (IIAP) de la Universidad de los Andes. Edo Mérida, Venezuela (8^o 38'21" latitud norte y 71^o 08'48" longitud oeste, 1.900 msnm, 2.036 mm y 17 °C).

El diseño experimental utilizado fue el Completamente al Azar, considerándose tres tratamientos con tres repeticiones para un total de nueve parcelas de erosión de 12 m² cada una, instaladas en el sentido de la pendiente del terreno, con una inclinación de 9%. Tanques graduados fueron instalados al pie de cada parcela para captar el volumen de escurrimiento generados en éstas.

Los tratamientos considerados fueron: cultivo papa (*Solanum tuberosum* L) variedad Granola, pasto kikuyo (*Pennisetum clandestinum* H) y testigo. Tanto la papa como el pasto se sembraron en dirección de la pendiente; las condiciones de manejo fueron las típicas de la localidad. El testigo, consistió en lotes mantenidos sin cobertura vegetal protectora con labranza en dirección de la pendiente.

Se evaluó la protección del suelo por los cultivos a través de 4 etapas, basadas en la metodología desarrollada por Wischmeier (1960); para el seguimiento de la evolución de la cobertura. Los sedimentos, producto de la erosión en cada parcela, fueron analizados para determinar el arrastre de materia orgánica y nutrimentos.

En términos generales los tratamientos evaluados mostraron diferencias altamente significativas en su acción sobre las variables escurrimiento, pérdida de suelo y de nutrimentos arrastrados en los sedimentos.

La cobertura vegetal es determinante de la magnitud de las pérdidas de suelo por erosión hídrica. La protección depende marcadamente del tipo de cultivo, variando su eficiencia con la evolución del cultivo a través de las diferentes etapas de crecimiento. Las pérdidas de suelo totales medidas en el campo de 69,89; 24,67 y 4,82 t/ha para el testigo, la papa y el pasto respectivamente. Para el total del periodo de investigación se determinaron valores de "C" con la EUPS de

0,35 y 0,069 para los cultivos papa y pasto respectivamente, con un escurrimiento de 25,64 y 5,47% de la precipitación total ocurrida durante el período de investigación.

Se observó una similitud del 98,8%, en los valores de las pérdidas de suelo estimadas a través de la EUPS y las medidas directamente en el campo.

Los rendimientos de papa y pasto obtenidos en la presente investigación fueron superiores a los promedios reportados para la zona.

www.bdigital.ula.ve

CAPITULO I

INTRODUCCION

Importancia

El problema de la erosión de los suelos es tan antiguo como la historia. Su significancia sin embargo se incrementa rápidamente en la medida en que se genera mayor presión por la creciente demanda de alimentos y demás productos agrícolas. A medida que la población aumenta el área cultivable por persona disminuye. Lo que lleva a la invasión de tierras marginales de muy bajo potencial para la explotación agrícola y una alta susceptibilidad a la degradación. En tal sentido, es de hacer notar que la presión demográfica aunada al patrón imperante de tenencia de la tierra hace mucho más intensiva la utilización de las cuencas altas que se caracterizan por fuertes pendientes y altas tasas de erosión; aunado a esto las continuas quemas, talas y usos inadecuados de los sistemas de explotación hace más grave la situación. Este manejo irracional de las tierras produce una alteración desfavorable del régimen hidrológico, problemas de erosión, sedimentación y en general una degradación de las cuencas con su consecuente impacto negativo sobre las condiciones socioeconómicas para el agricultor, la comunidad y las naciones.

En Venezuela el deterioro de los suelos avanza rápidamente, haciéndose necesario la realización de investigaciones con el fin de establecer medidas de prevención y control sobre la

base de un buen conocimiento de los procesos de degradación y de los recursos afectados. Se ha reportado la escasez de tierras de aptitud agrícola, con una cobertura de aproximadamente el 12% de la superficie del país, de la cual sólo el 2% corresponde a tierras agrícolas de buena calidad (COPLANARH, 1970, 1975). Particularmente la región de los Andes representa una importante zona agrícola con la producción de cultivos anuales, semipermanentes y permanentes con aportes en los rubros de hortalizas, papa, café y leche del 70, 40, 56 y 13% de la producción nacional respectivamente (Faillace, 1970; Steegmayer y Bustos, 1980).

Es importante determinar la pérdida de suelo relacionada con el desarrollo de estos cultivos, en sus diferentes etapas y bajo diferentes manejos. En este particular la Ecuación Universal de Pérdidas de Suelo (EUPS), constituye un método de gran aceptación, para la estimación de las pérdidas causadas por la erosión hídrica, y además es base para la planificación conservacionista.

Algunas investigaciones han sido adelantadas en el país a fines de evaluar cada uno de los factores que definen la EUPS, pero aún falta mucho por hacer. Concretamente el factor C (cobertura y manejo), punto fundamental de la investigación es uno de los factores con mayor carencia de información en el país, lo cual incide negativamente en la precisión de las estimaciones realizadas con la EUPS.

Justificación

La abundante información de Norte América y Europa ayuda a abordar mejor los problemas de las cuencas tropicales; es el caso de Venezuela y otros países donde se utiliza la EUPS, para evaluar la pérdida de suelo como también de base en la planificación y manejo de cuencas (Velasquez, 1987). Sin embargo la extrapolación de la información de las regiones templadas a las tropicales presenta inconvenientes (Richter et al., 1985): las condiciones ambientales y socioeconómicas de los trópicos son diferentes de las que imperan en las regiones templadas. La escasez de datos climáticos y ecológicos en estas regiones, ha hecho que el uso de la EUPS todavía presente dificultades para su aplicación, más frecuente en cuencas altas. Es altamente importante el empezar a generar información, en base investigaciones dirigidas a nuestras condiciones y necesidades tropicales.

La determinación del factor C de la EUPS, para los cultivos papa y pasto en la región de los Andes, se justifica por que es de interés conocer la protección que éstos brindan al suelo bajo condiciones determinadas y por que en los pocos estudios que se han realizado en la región no se han considerado, especialmente el cultivo de la papa. Se requiere del establecimiento de valores para el factor C a través del ciclo de los cultivos y bajo diferentes prácticas agronómicas conservacionistas para las condiciones locales, ya que es

información básica para la selección y diseño de las prácticas conservacionistas acordes con la capacidad potencial del uso de las tierras.

Objetivos

En base a los anteriores planteamientos, se orienta el presente trabajo de investigación hacia la búsqueda de los siguientes objetivos generales y fundamentales.

Generales

1. Determinar las pérdidas de suelo para las condiciones locales, bajo determinada forma de manejo, con cultivos específicos a través de mediciones directas en el campo.
2. Evaluar la eficiencia de la protección ejercida por la cobertura vegetal de dos cultivos de la región de los Andes, ante las pérdidas de suelo por erosión hídrica, bajo condiciones agronómicas de manejo típicas de la zona.

Específicos

1. Evaluar la variación en las pérdidas de suelo en función de la cobertura y manejo característicos en la zona, de dos tipos de vegetación cultivada: papa y pasto kikuyo.
2. Determinar y analizar los volúmenes de escurrimiento generados después de cada evento de precipitación, en función de los tratamientos considerados.
3. Determinar el factor C (manejo y cobertura) en la EUPS para cada una de las etapas de crecimiento de los

cultivos seleccionados.

4. Evaluar las pérdidas de nutrimentos arrastrados en los sedimentos producidos por la erosión bajo las condiciones consideradas de uso de la tierra.

El conocimiento generado a través de esta investigación podrá ser contrastado y complementado con otros trabajos y evaluaciones y utilizado localmente en la planificación conservacionista del uso de la tierra.

También se busca por medio de esta experiencia evaluar las posibilidades de realizar investigaciones de fácil manejo y bajo costo ya que se hace necesario contar con antecedentes que sirvan de guía en otras investigaciones que se requieren en el campo de la conservación de los suelos en zonas tropicales.

CAPITULO II

REVISION DE LITERATURA

La Erosión de los Suelos, su Importancia y Factores que la Afectan

La erosión de los suelos es quizás la forma más seria de degradación de las tierras en todas las partes del mundo (Carter, 1977), bien sea el aire o el agua el agente erosivo actuante. No cabe este señalamiento cuando se describe la erosión como un proceso natural que ha ocurrido y seguirá ocurriendo ligado a la evolución fisiográfica de la corteza terrestre, y a la formación misma de los suelos, sino cuando sus tasas aceleradas inducidas por la intervención antrópica dan lugar a un desequilibrio y degradación ambiental.

Las gotas de lluvia al caer sobre terrenos de vegetación rala desprenden el suelo desprotegido y lo arrastran junto con el agua de escorrentía, depositándose los sedimentos en las partes más bajas donde las corrientes se debilitan generándose así la erosión hídrica de los suelos de la cual se estudian algunas facetas en este trabajo de investigación.

La degradación de los suelos por erosión hídrica es uno de los problemas graves que confrontan algunas áreas dentro de las zonas montañosas más intervenidas del territorio Venezolano. Situación de común ocurrencia en las vertientes del río Tocuyo, algunas de las vertientes que alimentan la

Olla del Lago de Maracaibo (río Chama, Motatan, Escalante) y la de los ríos que corren por los Llanos Occidentales (río Acarigua, Guanare, Masparro, Santo Domingo, Caparo, Uribante) (Pla, 1981). La zona del piedemonte Andino también presenta esta forma de degradación; destacándose como principal problema los efectos indirectos sobre la zona baja y plana donde se hallan los suelos más aptos para la producción agrícola (Pla, 1987).

Según la forma como el agua actúa en el suelo se señalan tres clases de erosión hídrica (Gómez y Alarcón, 1975): erosión pluvial, erosión por escurrimiento y remoción en masa. Esta tercera clase se refiere a los grandes volúmenes de suelo removidos por acción del agua y la gravedad, los cuales pueden ser de flujo lento como la solifluxión o de flujo rápido como los deslizamientos y derrumbes.

La erosión pluvial es la causada por el impacto de las gotas de lluvia sobre el suelo desnudo, las gotas de lluvia caen con velocidad y energía variable de acuerdo a su diámetro, desprendiendo y dispersando las partículas de los agregados del suelo, que luego son arrastrados con el escurrimiento superficial. Las gotas de lluvia son las responsables de la mayor parte de la erosión de los suelos agrícolas cuando éstos no se encuentran protegidos (FAO, 1967).

Numerosos autores (Borst y Woodburn, 1942; Stallings, 1957;

Hudson, 1971 citados por Zachar, 1982) señalan que la remoción del suelo en áreas no protegidas es determinada por el impacto de las gotas de lluvias y no por el escurrimiento superficial, destacándose la importancia de la cobertura vegetal. Otros autores (Wischmeier y Smith, 1958 y Wischmeier, 1959) relacionan directamente a las pérdidas de suelo con la energía cinética de la precipitación.

La erosión por escurrimiento se da cuando la intensidad de las lluvias es mayor a la tasa de infiltración del agua en el suelo, entonces gran parte del agua fluye por la pendiente, llevando consigo la carga de suelo desprendido. Según Gómez y Alarcón (1975), dependiendo del escurrimiento, de la pendiente y de las características del suelo se dan diferentes formas de expresión dentro de esta clase de erosión: escurrimiento difuso, erosión laminar, erosión en surcos, erosión en cárcavas, erosión regresiva o remontante y terracetos.

Es de destacar la importancia que tiene la erosión laminar en tierras agrícolas, ya que no es fácilmente identificada por los agricultores. Según Ayres (1960), el proceso es sigiloso, puede o no dejar trazas visibles del perjuicio que causa y continuar durante años sin ser detectado. Usualmente cuando se le identifica sólo queda una capa muy delgada de suelo superficial, o las raíces de las plantas están desnudas, o bien se ha erosionado completamente el suelo hasta aparecer el subsuelo o la roca subyacente (Gómez y Alarcón, 1976), lo peor

del caso son las pérdidas, muchas veces irreversibles, de la productividad de los suelos.

Baver et al. (1972), citado por López (1988), señala los siguientes factores que afectan la erosión hídrica: clima, suelo, cobertura vegetal y topografía. Con respecto al clima, Fournier (1960) señala a la lluvia como causa directa del fenómeno; identificando su intensidad y distribución como los causantes de la acción erosiva sobre el suelo. Maran (1958), citado por Zachar (1982), utilizando simuladores de lluvias observó que un incremento de 8,3 veces, en la intensidad de la precipitación, estaba asociado con un incremento de 201 veces el escurrimiento, y un incremento de 4.214 veces en la pérdida de suelo. Moldenahuer y Long (1964), citados por Gásperi (1982), analizando la influencia de las diferentes intensidades de precipitación sobre suelos de diferente textura, obtuvieron que a medida que aumenta la intensidad de la lluvia la pérdida de suelo es mayor. Páez (1980) obtiene una ecuación cuadrática que relaciona la intensidad de la lluvia y su poder para separar el suelo, indicando que, en el rango de intensidades baja a alta, incrementos en intensidad aumentan el poder de separación y a intensidades muy altas, este poder de separación disminuye.

Del suelo interesan aquellas propiedades físicas y químicas que aumentan su capacidad de infiltración y aquellas que aumentan la resistencia a la dispersión y transporte (Zachar,

1982; Kirby, 1984). Baver et al.(1972), citado por López (1988), clasifica el efecto de las propiedades del suelo sobre la erosión hídrica de la siguiente manera:

Aquellas propiedades que determinan la habilidad del suelo para permitir la penetración de la lluvia, la cual depende de: a) la porosidad; b) el contenido de humedad del suelo al momento de ocurrir la lluvia; c) la permeabilidad del perfil del suelo. Por otra parte están aquellas propiedades físicas que imparten al suelo su resistencia a la dispersión, entre las cuales se encuentra la textura, mineralogía de las arcillas, el contenido de materia orgánica y los agentes cementantes; propiedades en estrecha relación con la estructura del suelo y su estabilidad la cual ha sido señalada (Bruce-Okine y Lal, 1975) como uno de los principales factores que definen la erosionabilidad de los suelos. Se resalta también la importancia de la profundidad del suelo y las características del subsuelo, en relación al horizonte superficial.

La vegetación juega un papel muy significativo en el control de la erosión. Fournier (1960), menciona la importancia de la vegetación en el control de la erosión al amortiguar el impacto de las gotas de lluvia dispersando su energía, al controlar la escorrentía y al incrementar la capacidad de almacenamiento del agua en el suelo. Según Elwell y Stocking (1976), la cobertura y el manejo del cultivo o

vegetación natural influyen en el grado de erosión, ya que los suelos con abundante vegetación, además de contar con una cobertura protectora, con frecuencia tienen una mejor estructura y agregados más estables. Hudson (1977) opina que la cobertura en los suelos tropicales tiene aún mayor importancia debido a la mayor agresividad climática que caracteriza a dichas zonas.

Con respecto al factor topográfico, se destaca el grado, longitud y la uniformidad de la pendiente como las características de mayor influencia en relación con el desarrollo de los procesos erosivos (Gásperi, 1982; López, 1988). El grado de la pendiente es importante por que la velocidad y movimiento del agua y su habilidad para desprender y acarrear las partículas de suelo se incrementa exponencialmente al aumentar la inclinación de la pendiente (Lal, 1977). Se ha demostrado experimentalmente que, en terrenos con pendientes superiores al 10 por ciento, al duplicarse el grado de la pendiente, las pérdidas por erosión se duplican e incluso llegan a hacerse 2,5 veces mayores, (Kohnke y Bertrand, 1959; Bayer et al., 1972 citados por López, 1988). En experimentos llevados a cabo en Chinchiná, Colombia, donde se evaluaron los efectos del grado de la pendiente en la pérdida de suelo, se obtuvo para un mismo suelo bajo condiciones de pendientes de 23 y 43 por ciento pérdidas de suelo de 119 y 319 t/ha respectivamente (Gómez y Alarcón, 1975). Según Zachar (1982) otros autores (Gussak,

1937; Neal, 1938; Zingg, 1940; Hudson y Jackson, 1959; Smith y Wischmeier, 1962) han obtenido datos de estudios específicos de la relación entre la pérdida de suelo y el grado de la pendiente.

La longitud y el grado de la pendiente tienen similares efectos sobre la pérdida de suelo (Hudson, 1977; Gásperi, 1982); con el aumento de la longitud se sucede un incremento en la velocidad, energía y volumen del agua de escorrentía lo cual aumenta el poder erosivo. Según señala López (1988), el tipo de suelo, la intensidad y duración de la lluvia son también factores decisivos al considerar el efecto de la longitud de la pendiente sobre la escorrentía y la erosión. Gómez y Alarcón (1975), presentan datos de experiencias en Chinchiná, Colombia, del efecto de la longitud de la pendiente en la pérdida de suelo sobre parcelas de erosión de igual pendiente; para longitudes de 5 y 10 metros se sucedieron pérdidas de suelo 152, 207 y 306 t/ha respectivamente. En términos generales se ha reportado que las pérdidas de suelo aumentan 1,5 veces por unidad de superficie al duplicar la longitud de la pendiente (Kohnke y Bertrand, 1959; citados por López, 1988).

En cuanto a la uniformidad de la pendiente, es poco común su ocurrencia a todo lo largo de un determinado trayecto. López (1988) señala que, donde las variaciones son pronunciadas, alternándose pendientes suaves con otras más

acusadas, ello puede tener influencia en cuanto a escorrentia y erosión se refiere y más aún si estos cambios de pendientes están acompañados por cambios en las características del suelo. Añade el mismo autor la importancia de otros factores topográficos tales como la configuración de la pendiente (cóncavidad y convexidad) y el microrelieve. Actualmente se cuenta con metodologías que permiten estimar las pérdidas de suelo en áreas con pendientes no uniformes (Onstad et al., 1967; Foster y Wischmeier, 1974 citados por Mitchell y Bubenzer, 1984).

Medición de la Pérdida de Suelo

En los EE.UU. las primeras mediciones cuantitativas de la erosión comenzaron en 1912 (Meyer, 1984). El interés sobre este tópico ha evolucionado con marcado énfasis en la importancia del conocimiento de cada uno de los factores que intervienen en la erosión, esto con el fin de establecer métodos para predecir con cierta certeza el desarrollo de los procesos de erosión bajo condiciones particulares, y por otra parte determinar prácticas de uso de la tierra que minimicen las pérdidas de suelo (Stocking, 1987).

La medición en el campo de las pérdidas de suelo por erosión hídrica tiene por objeto determinar la cantidad de suelo en determinado espacio que es transportado cierta distancia por acción del agua en un tiempo específico (Floey y

Gabriels, 1984). Las mediciones pueden aplicarse al efecto de la erosión total o bien a los factores elementales de la erosión. Las parcelas de erosión y la colocación de estacas en el campo son métodos de común utilización para la medición directa de la erosión en el campo.

Parcelas de Erosión y Escurrimiento

Las parcelas de erosión fueron primero usadas en los EE.UU. en el año de 1917 por M. F. Miller, y su forma y patrones permanecen sin mayores cambios hasta hoy (Stocking, 1987). Estas parcelas son usadas para medir la pérdida de suelo y escurrimiento superficial, se deben instalar en número suficiente para obtener un muestreo representativo de las principales características del área en estudio: tipo de suelo, cobertura de la vegetación, prácticas culturales, topografía, etc. Las parcelas son rectangulares construidas en el sentido de la longitud de la pendiente, delimitadas por bordes que aíslan y concentran el escurrimiento hasta la parte más baja de la parcela donde un colector, recibe el sedimento y el escurrimiento producido en toda la parcela.

Djorovic (1980) señala que, específicamente, el área de las parcelas de erosión dentro de ciertos límites tienen muy poca influencia sobre la pérdida de suelo, por eso el ancho de las parcelas pueden ser determinados básicamente por la naturaleza del cultivo experimental y por el material disponible para su construcción.

El área de las parcelas varía de acuerdo al objetivo del investigador y a la región en que se ubiquen los experimentos. Las parcelas estandar de erosión del Servicio de Conservación de Suelos de los EE.UU. tienen por dimensiones aproximadas 24,0 por 1,8 m (72,6 por 6 pies).

Djorovic (1977, 1980) encontró satisfactorio para sus investigaciones en Yugoslavia, un tamaño de 20,0 por 2,5 m sobre suelos de pendiente entre 11-36 por ciento. En el manual de conservación de suelo y agua de Chapingo se considera adecuada para la determinación del escurrimiento una parcela de dimensiones 10,0 por 2,0 m (CPC, 1977). En experimentos realizados por Goujon et al. (1977) en Madagascar, Africa se utilizaron parcelas con superficie de 50,0 a 500,0 m², tomando como referencia las medidas utilizadas por el Servicio de Conservación de Suelos de los EE.UU. Kalms (1977) utilizó en sus experimentos en Costa de Marfil, Africa parcelas de 22,0 por 5,0 m sobre suelos con pendiente del 4 por ciento. Hashim (1987) instaló parcelas de erosión, en la costa este de Malasia Peninsular, con dimensiones de 22,0 por 2,0 m sobre suelos en pendientes entre 11 - 70 por ciento.

En el país Lisazo (1980), para su experimento en tierras de cuencas altas, utilizó parcelas de erosión de 3,0 por 4,0 m. Páez y Rodríguez (1987) reportan en Maracay y Chaguaramas la utilización de parcelas de 22,0 por 2,0 m sobre suelos de

17, 15 y 6 por ciento de pendiente. Useche et al.(1987), en trabajos realizados en la zona montañosa del Tachira, utilizaron parcelas de 6,0 por 3,0 y de 4,0 por 2,0 m. Parcelas de tamaño reducido (microparcelas) son utilizadas en el campo o en el laboratorio bajo simuladores de lluvia , para determinar la influencia que sobre el escurrimiento y la erosión del suelo ejercen factores como la pendiente, la longitud de la pendiente, el tipo de suelo, sus propiedades físicas, etc. (Canuti et al., 1987; Rickson, 1987). Tal método permite en forma rápida la obtención de información valiosa (Moldenhauer y Foster, 1981).

Modelos de Predicción y Estimación de la Pérdida de Suelo. La Ecuación Universal de Pérdida de Suelo, "EUPS"

La predicción involucra la estimación, en la proyección de un evento, en base a registros pasados, y la estimación significa la deducción y aproximación de esta predicción a las condiciones reales (Hudson, 1980). Las técnicas de predicción han evolucionado aceleradamente en los últimos años, debido a que se lleva a cabo una investigación cada vez mayor sobre la erosión de los suelos (Mitchell y Bubenzer, 1984).

Los modelos de predicción, representación matemática del proceso, han sido categorizados en dos clases (Hussein, 1987): la primera clase corresponde a aquellos modelos que han sido derivados estadísticamente a partir de grandes bases de datos que a menudo no consideran los procesos físicos involucrados;

la Ecuación Universal de Pérdida de Suelo (Wischmeier, 1978) es un ejemplo de esta clase de modelos. Con el establecimiento de este tipo de modelos se logró un método rápido y relativamente sencillo para la predicción de la erosión hídrica; sin embargo los resultados no pueden ser extrapolados o transferidos fuera de la región de donde los datos fueron colectados. La segunda clase representa los modelos que son basados en los principios fundamentales de la erosión y sedimentación. Como ejemplo de esta clase de modelos se tienen; CSU (Li et al., 1977), ANSWER (Beasley et al., 1980) y CREAMS (Foster et al., 1980).

Actualmente en los EE.UU. se realiza la implementación de nuevas técnicas para la predicción de la erosión hídrica, las cuales llevarían a la revisión o renovación de la EUPS (Moldenhauer, 1987).

La Ecuación Universal de Pérdida de Suelo, "EUPS"

La EUPS ha sido ampliamente utilizada para estimar las pérdidas de suelo por erosión hídrica; es una ecuación empírica de uso simple, basada en un gran número de datos de precipitación natural derivados del establecimiento de más de 10.000 parcelas experimentales, y una cantidad adicional de datos de una variedad de estudios usando simuladores de lluvia (Foster et al., 1982).

Desde su introducción en 1965, la USLE ha sido el modelo de

predicción de la erosión hídrica más ampliamente utilizado en los países en vía de desarrollo (Roose, 1977; Hudson, 1980). La ecuación ha sido empleada desde 1971 para determinar pérdidas de suelo en sitios de construcción y, desde 1972 en tierras de bosques y pastos (Arnoldus, 1977). El uso con otros fines, distintos a aquellos para los cuales ha sido diseñada, se ha dado simplemente por que parece satisfacer las necesidades mejor que cualquier otro tipo de metodología disponible (Wischmeier 1976); la expresión matemática básica de la EUPS es:

$$A = R \times K \times L \times S \times C \times P \quad (1)$$

Donde:

A= Pérdida computada de suelo anual por unidad de superficie, que se obtiene multiplicando los factores restantes.

R= Factor lluvia; número de unidades índice de erosión (unidades EI) en el periodo de que se trate. El índice de erosividad es la medida de la fuerza erosiva de una lluvia determinada.

K= Factor erosionabilidad del suelo; tasa de erosión por unidad índice de erosividad para un suelo determinado en barbecho continuo cultivado con un declive de 9 por ciento y longitud de 22,1 m.

L= Factor longitud del declive; relación entre la pérdida de suelo correspondiente a la longitud del declive del terreno y a la correspondiente a una

longitud de 22,1 m, en iguales tipo y pendiente del suelo.

S= Factor pendiente del declive; relación entre la pérdida de suelo correspondiente a la pendiente del terreno y la correspondiente a un declive de 9 por ciento, en iguales tipo de suelo y longitud de declive.

C= Factor cultivo-manejo; relación entre la pérdida de suelo de un terreno sometido a determinado cultivo y manejo y a la que ocurre en las condiciones de barbecho en que se evalúa el factor K.

P= Factor prácticas de medidas de lucha contra la erosión; relación entre la pérdida de suelo en un terreno en el cual se efectúa el cultivo v.g. en contorno o en fajas y la de un terreno en que el cultivo se hace en surcos rectos en dirección de la pendiente.

Tal como ha sido definida la "EUPS" se puede observar que son los factores C y P los que permiten al hombre, de una manera más directa e inmediata, controlar las pérdidas de suelo a través de un manejo conservacionista de las tierras. Principalmente el factor C, tema fundamental en esta investigación, es afectado por la implementación de prácticas conservacionistas del tipo agrovegetativo (Delgado, 1987) los cuales afectan particularmente dada la protección por cobertura que ofrecen ante la agresividad de las lluvias.

Aplicabilidad y Limitaciones de la EUPS

La EUPS es un modelo diseñado para predecir la cantidad de pérdida de suelo por escurrimiento desde áreas específicas bajo determinados sistemas de manejo y cultivo (Wischmeier y Smith 1978). Existe controversia sobre su "apellido Universal", con respecto a esto Wischmeier (1984) opina que "el término universal fue aceptado como un medio para distinguir este modelo de estimación de los modelos regionalizados ya existentes y para denotar que ninguno de los términos en este modelo utiliza un punto de referencia que tenga orientación y dirección geográfica". Señala además que "quizás la validez del término universal depende de la interpretación que se le dé. En el sentido de las funciones propuestas para los seis factores de la ecuación, la validez del modelo no debería tener límites geográficos. Pero su aplicabilidad está limitada por la disponibilidad de los valores representativos locales para cada factor".

Stocking (1987) opina que la ecuación de por sí es universal solamente en el sentido de que es un vehículo para procesar y ensamblar datos locales y ecuaciones de regresión basadas en los mismos, lo que no es universal son los valores de los factores de la ecuación.

Con respecto a las limitaciones de la EUPS, Foster (1979) citado por Lizaso (1980) señala las siguientes:

- a- No estima con precisión la erosión para un evento específico.
- b- No estima la erosión causada por flujo concentrado.
- c- No estima la deposición.
- d- No es precisa cuando se trata de estimar las relaciones de producción de sedimentos.
- e- No estima la concentración de sedimentos en la escorrentía.
- f- No proporciona información sobre los sedimentos en sí, tal como tamaños, densidad, áreas superficiales, etc.

Aún con tales limitaciones la ecuación está hecha para trabajar en cualquier sitio donde exista una base de datos locales suficiente (Stocking, 1987). Con respecto a esto El-Swaify et al. (1982) señala que para su uso en el trópico la ecuación requiere, para cada uno de sus factores componentes, valores específicos del sitio. Foster et al. (1982) añaden, que la cobertura vegetal del suelo y la intensidad de la lluvia son los factores a los cuales se les debe dar la mayor atención al aplicar la EUPS en regiones tropicales.

Roose (1977) sostiene que aunque se requiere de información de muchos años, para establecer los parámetros de la ecuación, ésta parece adecuada para predecir la erosión laminar y en surcos, en zonas montañosas húmedas del oeste Africano.

En Venezuela, Lizaso (1980), en base a experimentos

realizados, concluye que la EUPS sobreestima el efecto de la pendiente; además no permite evaluar por separado diferentes alternativas para el factor R, en base a las pérdidas de suelo, ya que al estimar los otros factores sus valores se compensan, sugiere la necesidad de intensificar la evaluación del comportamiento de la EUPS en condiciones de cuencas altas. Useche et al. (1987) recomiendan el uso de la EUPS para evaluar el manejo de cultivos en paisajes de montaña, para posteriormente ser utilizados como modelos de planificación conservacionista. Páez et al. (1983), citados por Páez y Rodríguez (1987), reportan que la EUPS, se ajusta bien a tierras arables, localizadas en mesoclimas semiaridos, seco - subhúmedo y húmedo - subhúmedo y recomienda la intensificación de los esfuerzos para la obtención de los valores de los parámetros de la misma.

Es importante señalar que existen técnicas alternativas desarrolladas para condiciones específicas, tal como el Estimador de Pérdidas de Suelo para Sur Africa (Elwell y Stocking, 1982; citados por Stocking, 1987), el cual es un modelo para uso en localidades, donde los datos existentes son limitados, y que se caracteriza por su gran flexibilidad. Mirando hacia el futuro, los modelos basados en procesos son de importante consideración ya que ellos permitirían la interpolación y extrapolación de condiciones no medidas y tendrían una aplicabilidad más generalizada que los modelos de hoy.

Uso y Manejo de la Vegetación en el Control de la Erosión

La vegetación natural o cultivada bien manejada es de vital importancia como una protección del suelo contra la erosión hídrica. La cubierta vegetal protege al suelo contra la acción erosiva de las gotas de lluvia, incrementa el grado de infiltración del agua en el suelo, mantiene la rugosidad de la superficie del suelo, reduce la velocidad de escurrimiento superficial, brinda agarre mecánico al suelo y mejora las propiedades físicas, químicas y biológicas del suelo (Zachar, 1982). Se destaca la importancia de aquellos efectos conectados con la protección directa contra el impacto de las gotas de lluvia y con el aumento en la infiltración (Elwell y Stocking, 1976; Suarez, 1982). Aunque los suelos tropicales a menudo tienen altas tasas de infiltración, cuando la cobertura vegetal es removida, el escurrimiento se incrementa significativamente (Foster et al., 1982). Suarez (1982) cita algunos índices de infiltración obtenidos en varios ensayos en Chinchiná, Colombia, resalta la influencia de la vegetación sobre las tasas de infiltración. Para terrenos desnudos fuertemente erosionados el mismo autor reporta valores de 1,8; para terrenos cubiertos con pasto 6,15 cm³/min y para los cubiertos con bosque 21,27 cm³/min.

López (1988) señala que las condiciones de la cobertura vegetal que actúan como interceptores de la precipitación en

un terreno, afectan las pérdidas de suelo por erosión hídrica y a los volúmenes de escurrimiento. El mismo autor presenta una tabla resumen producto de investigaciones realizadas en este campo que muestra relaciones características de escurrimiento-infiltración bajo diferentes tipos de cobertura vegetal; tomando como referencia para bosques 1, se tiene: para pasto 3, y para cultivos en hileras estrechas e hileras anchas 25 y 30 respectivamente. Hudson y Jackson (1959) citados por Armstrong et al. (1980) encontraron una alta relación entre las pérdidas de suelo y porcentaje de área superficial expuesta a la lluvia.

Suarez (1982) presenta un resumen (Tabla 1.) de los datos obtenidos en cuatro estaciones experimentales del Estado de Sao Pablo, Brasil, que muestra como varían las pérdidas de suelo y agua bajo diferentes coberturas.

El Factor Cobertura y Manejo de la Ecuación Universal de Pérdida de Suelo, "EUPS"

Cuando se trata de áreas cultivadas el valor del factor C de la EUPS (Wischmeier, 1978) considera la influencia, en la tasa de pérdida de suelo, del tipo y densidad de cobertura vegetativa del suelo y todas las prácticas de manejo relacionadas, tales como: tiempo para realizar las operaciones de cultivo, control de maleza, riego, fertilización, etc.

Wischmeier (1960) desarrolló un método para la evaluación de la protección al suelo por el cultivo, para lo cual

Tabla 1. Pérdidas de Suelo y Escurrimiento en Parcelas Bajo Diferentes Coberturas en Campiña, Brasil, con Precipitación Promedio Anual de 1300 mm y Pendientes Entre 10 y 12 por Ciento (Suarez, 1982).

Cobertura vegetal	Erosión t/ha (promedio anual)	escorrentia % (promedio anual)
Bosque	0,001	1,1
Pasto	1,0	1,6
Cafetal sin sombra	1,4	1,6
Algodón	36,0	8,2

estableció cinco periodos o etapas de crecimiento definidas por la relativa uniformidad de la cobertura y efectos residuales:

Período F. Barbecho: desde la labranza a la siembra, en este periodo la tierra se encuentra en descanso con vegetación espontanea o inducida.

Período 1. Siembra: desde la siembra hasta el fin del primer mes.

Período 2. Establecimiento: periodo que comprende el segundo mes después de la siembra, cuando ésta se hace en la primavera.

Período 3. Crecimiento y duración: desde el final del periodo 2 hasta la cosecha.

Período 4. Rastrojo: desde la cosecha hasta la labranza para la nueva siembra.

Esta metodología de Wischmeier ha sido tomada como patrón y adaptada para evaluación de la cobertura vegetal en otras latitudes.

El efecto de la cobertura varía en efectividad a través del tiempo, y se concentra en un tiempo relativamente corto, que coincide con la etapa de mayor crecimiento vegetativo, ya que antes de la siembra, después de la última cosecha, no existe una cubierta vegetal y aún en los primeros estadios después de la siembra las plantas no habrán alcanzado un buen desarrollo para poder desempeñar una función protectora eficaz. Todas estas variaciones de la cobertura se ven reflejados en el factor C, de aquí la importancia de evaluar la evolución de la cobertura a través de cada uno de los diferentes periodos. En la Tabla 2 se presentan valores de "C" reportados para cada uno de los diferentes periodos señalados de los cultivos considerados.

Elwell y Stocking (1976) presentaron un enfoque de clasificación de la cubierta por cultivo, donde se considera la cantidad de energía cinética estacional que intercepta el cultivo durante su crecimiento. De esta forma desarrollan una relación entre la pérdida de suelo y la cubierta vegetal. Goujon et al. (1977) en el Instituto de Investigaciones Agronómicas de Madagascar, Africa, han puesto en evidencia la importancia de la caracterización local de la influencia de la

Tabla 2. Valores de "C" (Adaptado por López, 1988, de Wischmeier y Smith 1965, 1978).

Cultivo y prácticas	Período					
	F	1	2	3	4L ^{1/}	4R ^{2/}
<u>MAIZ</u>						
Después de heno, método convencional	0,17	0,35	0,19	0,12	0,18	0,40
después de heno, con siembra directa	---	0,10	0,10	0,70	0,18	0,40
en segundo año de maíz después de heno	0,39	0,58	0,41	0,22	0,22	---
en tercer o cuarto año maíz después de heno	0,32	0,73	0,54	0,29	0,40	---
<u>TRIGO CEBADA</u>						
después de heno	0,17	0,35	0,42	0,60	0,30	---
después de maíz, residuos quitados	0,60	0,65	0,42	0,60	0,30	---
después de maíz, residuos dejados	0,35	0,51	0,34	0,50	0,30	---
<u>PAPA</u>						
soya, mani, frijol	0,43	0,66	0,60	0,28	0,40	0,70
después de maíz	0,33	0,60	0,38	0,20	0,17	---

1/ residuos dejados
2/ residuos quitados

F. desde la aradura a la siembra
1. " la siembra hasta 30 días
2. " 30 días hasta 60 días
3. " 60 días hasta la cosecha
4. rastrojo.

cobertura vegetal pudiendo establecer comparaciones y determinar valores de "C". Los valores que reportan dichos autores son los siguientes: Para bosques y praderas 0,01, rotación de cultivo de forraje 0,2, rotación de cultivos con cereales 0,4, trigo continuo 0,7, frutales 0,9, y para barbecho con laboreo 1. Roose (1977) en Africa Occidental, ha presentado valores promedios anuales de "C" (Tabla 3.) para varias situaciones de manejo y cultivo. Encontrando que algunos valores son afectados por la densidad, tiempo de plantación, método de siembra, fertilización, y por la permanencia de residuos en superficie.

En Venezuela, Lizaso (1980) reporta valores de "C" para cuatro coberturas en cuencas altas. Bosque 0,37, yuca 0,29, rastrojo 0,34 y café y 0,26. Llama la atención el valor tan alto para bosque, el cual es justificado por perturbación del suelo en el momento de la instalación de las parcelas. Páez et al. (1983), citados por Páez et al. (1985), reportan valores del factor C para: cultivos asociados (maíz - auyama) 0,01 - 0,03; franja: pasto - maíz, pasto - frijol 0,01- 0,03 y para franja: canavalia - sorgo 0,1 - 0,3. En zona de montaña, Useche et al. (1987) determinan valores de "C" para cobertura vegetal natural de 0,042; cafeto cobertura vegetal natural 0,088, cafeto con control químico de malezas 0,123; cafeto sembrado a tresbolillos 0,126; cafeto con cobertura de Afil rastrero 0,219; cafeto con barrera de pasto Imperial 0,226 y para cafeto con control de maleza con pala 0,396.



Tabla 3. Valores de "C" para Algunas Condiciones de Africa Occidental (Roose, 1977).

Condiciones	Factor C, valor promedio anual
Suelo desnudo	1,0
Bosque denso	0,001
Sabana a pastizal sin pastoreo	0,01
Cultivo de cobertura de desarrollo lento o siembra tardía.	
1 ^{er.} año	0,3 - 0,8
2 ^{do.} año	0,1
Cultivo de cobertura de desarrollo rápido	0,1
Maíz, sorgo, millo (en función de rendimiento)	0,3 - 0,9
Arroz (cultivo intensivo, segundo ciclo)	0,1 - 0,2
Algodón, tabaco (segundo ciclo)	0,5
Maní, soya	0,4 - 0,8
Yuca (primer año)	0,2 - 0,8
Palmas, café, coco, con cultivos de cobertura	0,1 - 0,3

Algunos autores han sugerido para corto plazo, utilizar los valores de "C" que han sido producidos en condiciones tropicales o aquellos provenientes de los EE.UU., cuya naturaleza facilite su aplicación al caso bajo estudio. También se sugiere la realización de investigación para obtener valores de "C" acordes a nuestras condiciones y requerimientos (Gásperi, 1982; Páez y Rodríguez, 1987).

Pérdidas de Nutrimientos por Erosión

La pérdida de elementos nutritivos en los sedimentos arrastrados por el flujo de escorrentía es uno de los efectos negativos de la erosión sobre la productividad de los suelos.

Los daños ocasionados a los terrenos son más fácilmente visualizados cuando se reconoce además de la pérdida de suelo, la cantidad de materia orgánica, nitrógeno, fósforo, potasio, y calcio arrastrados en los sedimentos (Suarez, 1982).

La mayoría de los suelos tropicales tienen sus nutrientes disponibles, concentrados en los primeros 20 cm del suelo, especialmente en zona de bosques (Roose, 1967), y la erosión laminar toma selectivamente los coloides minerales y orgánicos y a los elementos nutritivos absorbidos que son transportados hasta los sitios de sedimentación (Roose, 1973; Lal, 1976; citados por Roose, 1977). Estas pérdidas conllevan a aumentos en los costos de producción debido a las altas aplicaciones de fertilizantes necesarias para subsanar los

bajos rendimientos que ocurren cuando un subsuelo de características contrastantes queda expuesto (López, 1988) y son más perjudiciales en los países en vía de desarrollo en los cuales se aplican pocos fertilizantes o bien no se hace fertilización del todo (Unger, 1988).

Algunas de las experiencias en la determinación de pérdidas de nutrimentos en suelos erosionados son las siguientes:

En los EE.UU., Massey et al. (1958) al estudiar muestras de sedimentos en parcela experimentales en Wisconsin, encontraron que el material de suelo erosionado contenía 2,1; 2,7; 3,4; y 19,3 veces de materia orgánica, nitrógeno, fósforo disponible y potasio intercambiable, respectivamente, en relación a los contenidos en el propio suelo. En Georgia, EE.UU., Thomas et al. (1968) estudiando parcelas de escurrimiento sobre suelos de 3 por ciento de pendiente encontraron que las cantidades aproximadas en kg/ha de P, K y Ca fueron 0,03, 0,13 y 0,15, respectivamente, asociada a pérdidas de suelo medidas en t/ha/mes. White y Willianson (1973) encontraron que las pérdidas de nutrimentos erosionados desde tierras cultivadas eran similares a las pérdidas promedios que podrían ocurrir si el área estuviese en pradera y sometida periódicamente a la acción del fuego.

En Nigeria, Kowal (1972) reporta pérdidas anuales aproximadas de Ca, Mg y Na en escurrimiento y en suelo

erosionado que fluctúan entre 14 y 30 kg/ha. Lal (1976), citado por Kantg y Lal (1981), midiendo las pérdidas de P en tierras agrícolas, encontró que el desplazamiento de P fue principalmente con los sólidos del suelo.

En Bélgica, Harotiaux (1980) determinó la pérdida de nutrimentos en los sedimentos arrastrados. Sus datos muestran una pérdida de casi una t/ha/año de materia orgánica y la relación aproximada de C/N fue de 8,4, en los sedimentos erosionados.

En Colombia, Suarez y Rodríguez (1962), citados por Gómez y Alarcón (1975), reportan pérdidas de nutrimentos en suelos erosionados sobre una pendiente de 45 por ciento y bajo diferentes manejos. Las pérdidas de los nutrimentos N total, P, K, Ca y Mg en kg/ha para el suelo desnudo fueron de 25,24, 0,98, 24,03, 238,63 y 151,66; y con pasto Micay fueron 6,28, 0,15, 5,58, 24,83 y 26,39 respectivamente. Se cita también a Uribe (1966) quien reporta pérdidas altas de promedio anual de suelos y elementos nutritivos causados por escorrentía en suelos con pendiente de 60 por ciento y bajo cultivo de café. Los mismos autores (Gómez y Alarcón, 1975) concluyen que la pérdida de elementos nutritivos, no está relacionada, muchas veces, con la pérdida total de suelo; argumentando que, en tratamientos que producen más erosión, la mayor parte del contenido de nutrimentos se pierde inicialmente cuando se produce la mayor cantidad de pérdida de suelo, siendo el

arrastre posterior de partículas menos fértiles.

En Venezuela, Gásperi (1982) reporta valores estimados de pérdidas de nutrimentos y materia orgánica en sedimentos arrastrados por la erosión en suelos de la Depresión de Quibor, Edo Lara. Dicho autor cataloga la erosión en dicha localidad en dos tipos ligera y severa; para la primera con una cantidad de suelo arrastrado 700 t/ha se perdieron 17.500, 13, 105 y 55 kg/ha de materia orgánica, N, P y K respectivamente. Para la segunda con una cantidad de suelo arrastrado de 2.100 t/ha las pérdidas incrementadas de materia orgánica y nutrimentos fueron 52.500, 39, 315 y 164 kg/ha.

Casanova et al. (1987) determinan pérdidas de nutrimentos en sedimentos erosionados desde parcelas de campo bajo diferentes tratamientos de manejo de cultivo y suelo, localizadas sobre dos tipos de suelo. Typic Haplustalf en el Edo Guárico y Cumulic Haplustoll en el Edo Aragua. Para la primera localidad reportan para el tratamiento suelo desnudo con pendiente de 6 por ciento, las pérdidas de materia orgánica de 3,3, 25,3 y 243,2 veces más alto comparado con los tratamientos sorgo con labranza, sorgo con mínima labranza y sorgo en fajas, respectivamente. Tomando en cuenta el N total, P disponible y el Ca, Mg y K intercambiable las pérdidas de materia orgánica y nutrimentos de las plantas siguen la siguiente tendencia: suelo desnudo > sorgo con labranza > sorgo con mínima labranza > sorgo en cultivo en fajas. En la segunda localidad determinan que las mayores pérdidas de materia orgánica y

nutrimentos la tienen los tratamientos de suelo desnudo seguido del tratamiento de maíz. En general los autores concluyen que en ambas localidades las pérdidas de nutrimentos y materia orgánica decrecen cuando alguna forma de cobertura vegetal es usada. En los Andes venezolanos, Añez y Tavira (1985) determinaron las pérdidas de nutrimentos en sedimentos erosionados en parcelas experimentales ubicadas sobre una pendiente 8,28 por ciento y bajo cultivo de ajo. Las pérdidas determinadas fueron 704,98; 43,45; 1,61 y 1,36 kg/ha de CO₂, N total, P disponible, K aprovechable y Mg aprovechable respectivamente.

www.bdigital.ula.ve

CAPITULO III

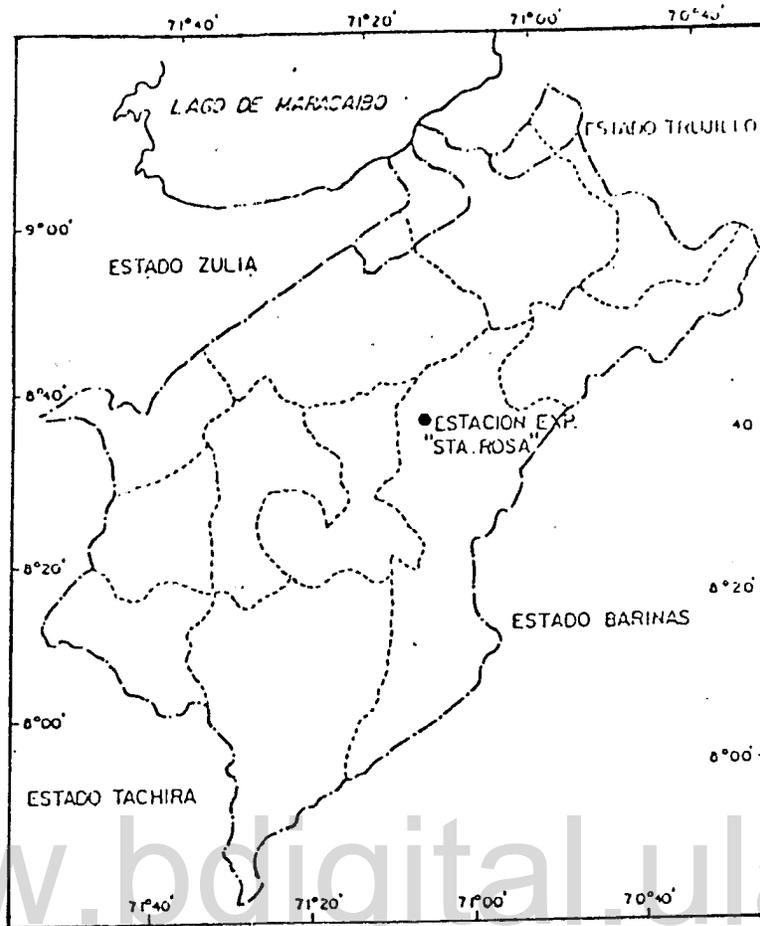
MATERIALES Y METODOS

Localización y Características del Area Bajo Estudio

Ubicación y Clima

El trabajo de campo se llevó a cabo en un lote de terreno de la Estación Experimental "Santa Rosa" del Instituto de Investigaciones Agropecuarias de la Universidad de los Andes (IIAP - ULA), localizado en el Distrito Libertador, Edo Mérida, entre los $8^{\circ}38' 21''$ de latitud norte y $71^{\circ}08' 48''$ latitud oeste (Figura 1) a una elevación promedio de 1900 m.s.n.m. El promedio de precipitación registrada durante 22 años (1967 - 1988) es de 2.036,3 mm (Tabla B1 del Apéndice), presentándose el año de 1988 y particularmente el mes de noviembre del mismo año como los más lluviosos en todo el registro analizado. La precipitación de la zona está caracterizada por un régimen bimodal con dos máximos en octubre y en abril - mayo, y dos mínimos en enero - febrero y julio (Figura 2).

La temperatura media anual es de 17°C . El clima actual de acuerdo a Koopen (1954), puede clasificarse como Cw^{i} y según Thornthwaite (1948), como $\text{B}_3\text{A}'\text{ra}'$. Por sus características ecológicas y según el Sistema de Zonas de Vidas de Holdridge el área corresponde al Bosque Húmedo Fremontano (Ewell et al., 1968).



ESCALA 1:20.000



Figura 1. Localización de la Estación Experimental "Sta. Rosa" donde se realizó la investigación.

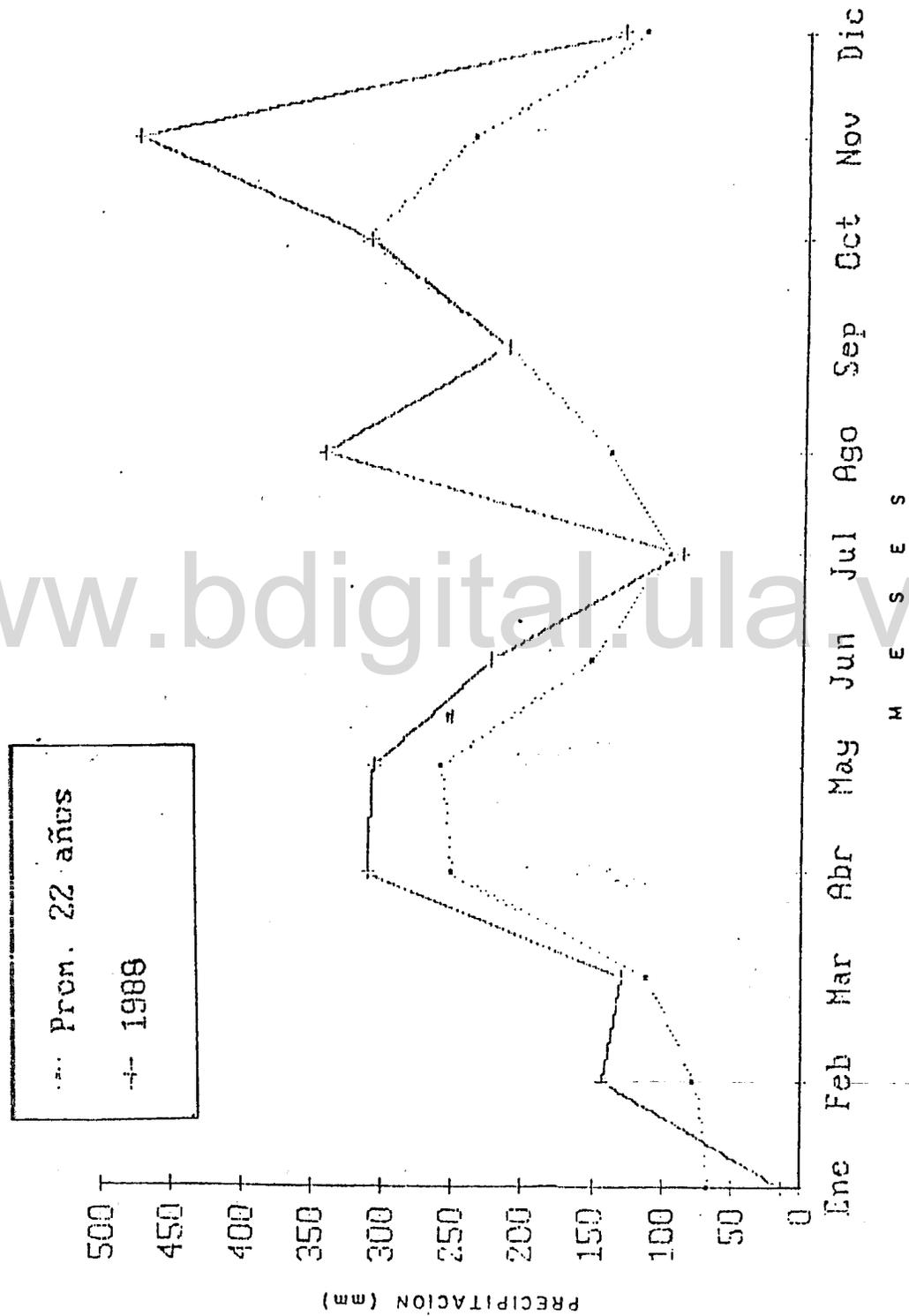


Figura 2. Distribución Mensual de la Precipitación en mm del año 1988 comparado con el período de 22 años (1967 - 1988). Estación "Sta. Rosa" IIAP - ULA. Edo. Mérida.

Suelos

El suelo donde se realizó el experimento es un Humitropepts típico familia esqueletica franca, mixta e isotérmica (Romero, 1980) geomorfológicamente corresponde a un cono terraza (T₂), siendo el relieve ligeramente inclinado con pendiente general del 11 por ciento. En su litología superficial se tienen materiales de origen coluvial, depositados durante el Pleistoceno. Su petrografía es variada, observándose bloques de arenisca, gnéis y granito algunos de ellos de gran tamaño, guijarros fundamentalmente cristalinos, areniscosos y materiales finos.

Las propiedades químicas dominantes para el horizonte superficial (0 - 26 cm) bajo estudio, según metodología esquematizada por Cortés y Malagón (1983), pueden resumirse cualitativamente tal como sigue: pH ligeramente ácido, capacidad de intercambio catiónico muy baja, y saturación de bases mediana. En cuanto a los niveles de elementos nutritivos para las plantas se presentan las siguientes condiciones; calcio (mediano), potasio (muy alto), fósforo soluble (bajo), nitrógeno total (muy alto), y carbono orgánico (muy alto) lo mismo que la relación carbono - nitrógeno.

Información referente a las características químicas y físicas de este suelo se presentan en las Tablas A1, A2, y A3 del Apéndice.

Clasificación de las Tierras por su Capacidad de Uso

De acuerdo al Sistema de Clasificación de Tierras por Capacidad de Uso propuesta para Venezuela por Comerma y Arias (1971), basado en el Sistema Americano de la "Ocho Clases" (Klingebiel y Montgomery, 1961) se ubican las tierras de la localidad dentro de la subclase específica IVph. Tierras que presentan limitaciones topográficas y de suelo; específicamente por pendiente y profundidad efectiva.

Explotación Tradicional de las Tierras

Durante los últimos años estas tierras han tenido un uso agrícola intensivo, siendo las últimas cosechas obtenidas de ajo y zanahoria; para su manejo se combina labranza manual y mecanizada. Estas áreas están destinadas a la investigación y la extensión agrícola.

Características de los Cultivos Incluidos en la Evaluación, Manejo y Prácticas de Común Aplicación en la Zona

Cultivo de Papa (Solanum tuberosum L.), familia Solanaceae, tipo Spermatofita, variedad granola.

La papa se considera originaria de la región Andina del Perú, Bolivia y Chile. En los Andes Venezolanos se cultiva desde hace mucho tiempo comúnmente en suelos de ladera y sin prácticas conservacionistas efectivas lo que, aunado a las condiciones climáticas, origina procesos de erosión que

degradan los suelos.

Su importancia en la zona estriba en: su explotación intensiva (generalmente 2 veces por año), que constituye una de las principales fuentes de empleo de la población rural, y en su contribución en un alto porcentaje de la producción nacional. El Anuario Estadístico Agropecuario de MAC (1985) revela que, a pesar de existir una tendencia a la disminución de la superficie cosechada en el año 1983, la región de los Andes proporcionó una producción de 73.054 t de papa que representó el 32,4 por ciento de la producción nacional.

Algunas de las características morfológicas y morfogenéticas de la variedad agrícola son las siguientes: altura entre 60 y 80 cm, el desarrollo de los tubérculos comienza de 5 a 7 semanas después de la siembra, la floración ocurre aproximadamente 45 días después de la siembra, y su ciclo vegetativo oscila entre 90 y 120 días; estando incluida entre las variedades de papa de maduración tardía (Guzmán, 1988).

La variedad granola es recomendada por el Fondo Nacional de Investigaciones Agropecuarias (FONAIAP) para la región de los Andes, básicamente, por ser una variedad resistente a la "candelilla tardía" y al nemátodo dorado.

Los suelos ideales son los de textura media, sueltos, bien drenados, y aireados; características que son importantes por

que hay que considerar que el tubérculo va engrosando lentamente, bajo condiciones contrarias, se producen deformaciones en el producto que inciden en su valor comercial (Pereira, 1988).

El desarrollo óptimo del cultivo se da en suelos con pH entre 5,2 y 6,4 prefiriendo valores bajos. En cuanto a los niveles de fertilidad, sus requerimientos son altos, particularmente en relación al elemento potasio.

En la región, la aplicación de fertilizantes en grandes cantidades, se realiza año tras año, sin previos análisis afectando las condiciones del suelo, la calidad del cultivo y los costos de producción (Romero, 1980; Pereira, 1988), lo cual además perjudica económicamente al agricultor.

En los Andes es común la aplicación de abono orgánico como complemento a la fertilización química. Tal es el caso del estiercol aplicado en dosis alrededor de los 20 m³/ha. La siembra la realizan "a golpe" con una separación de surco a surco de 80 cm de planta a planta de 30 cm.

Otra práctica común en la zona es la realización del aporque. El 90 por ciento de los papicultores realizan el aporque entre los 30 y 50 días después de efectuada la siembra (Faillace et al., 1973).

La eliminación del follaje 12 - 15 días antes de la cosecha

es otra labor común para alcanzar la maduración comercial; esto con el fin de dar mayor consistencia al "pellejo" del tubérculo y permitir su manipulación durante su posterior etapa de comercialización (Guzmán, 1988).

La cosecha es realizada, normalmente, a mano con azadón y arado, tirado por bueyes o por tractor.

Pasto Kikuyo (*Pennisetum clandestinum* H.)

El kikuyo es una gramínea originaria de África naturalizada en los Andes Venezolanos. Se adapta muy bien a la zona de clima frío, su rango de adaptabilidad es una franja altitudinal que tiene como límites los 1.600 y 3.200 m.s.n.m. ésto, por supuesto, si se cumplen los requisitos de humedad y suelo que el pasto requiere (Del Castillo, 1974).

Esta especie se propaga vegetativamente, por estolones o por cepas. Sexualmente se propaga mediante la diseminación de la semilla que hace el ganado al consumir el pasto. Las plantas se extienden superficialmente, pero poseen además rizomas que alcanzan, a veces, varios metros. Los tallos crecen erectos o semierectos y alcanzan 60 a 80 cm de altura. Sus hojas pueden planas y cortas de 8 a 15 mm de ancho y de 10 a 20 cm de largo (Dávila y Chaverra, 1987).

En la región Andina Venezolana no es común la realización de aplicaciones de abonos fertilizantes a los pastizales. El kikuyo en cultivo puro, sin leguminosa asociada, responde

favorablemente a la aplicación de nitrógeno, siendo el sobrepastoreo una práctica común que conlleva a la degradación del suelo y la vegetación.

El kikuyo asociado a leguminosas como la alfalfa o el trebol, da buenos resultados ya que mejora la calidad del pasto y baja el costo de la fertilización con Urea (Dávila, 1985).

El manejo con fines pecuarios, del kikuyo, es importante para el mantenimiento de la función de conservación de suelo en la región de los Andes, de aquí el interés en experimentar localmente para determinar la protección que brinda al suelo contra la erosión hídrica.

Tratamientos, Materiales, Equipos y Métodos de Evaluación Utilizados en la Investigación

Instalación de las Parcelas de Erosión

El diseño experimental utilizado fue el completamente al azar con múltiples observaciones, donde se estudiaron tres tratamientos con tres repeticiones cada uno. Sobre un lote de aproximadamente 600 m^2 se instalaron 9 parcelas de erosión de 12 m^2 cada una, 6 m de largo por 2 m de ancho con una calle de separación entre ellos de 1 m (Figura 3). Para delimitarlas se utilizaron láminas de cinc de 28 cm de altura, enterradas 10 cm.

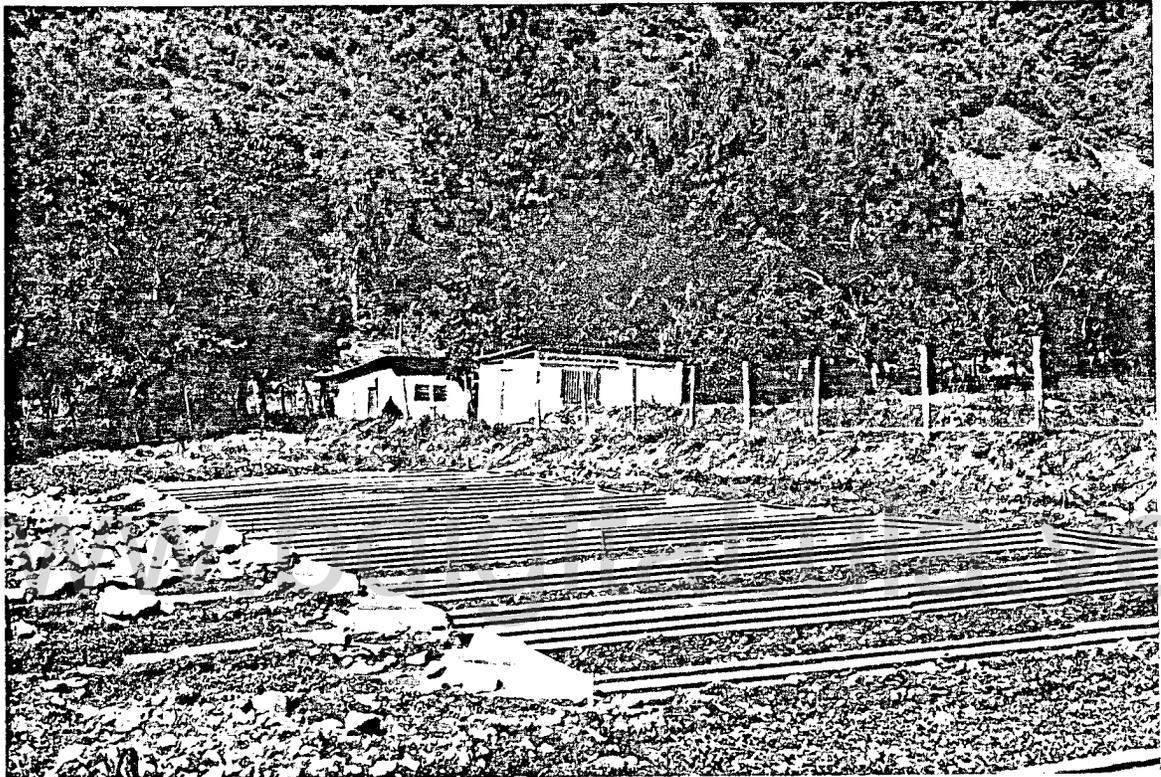


Figura 3. Vista General del Area Experimental que Muestra Ubicación y Características de las Parcelas de Erosión. IIAP-ULA, Edo. Mérida.

Al pie de cada parcela se colocó una bandeja de forma triangular para facilitar la concentración del escurrimiento, esta bandeja se cubrió con un material plástico con el fin de evitar la recolección de lluvia caída fuera de los límites de la parcela. Cada una de las parcelas se conectó con un tanque de 210 litros de capacidad a través de un tubo de PVC de 7,62 cm de diámetro de 1,50 m de longitud. Se colocó un filtro de malla (1 mm) en el orificio de salida de la bandeja, lo que permitió la selección del material que llegaba al tanque. Dicho tanque cubierto con un material plástico fue graduado para realizar lecturas directas del volumen de escurrimiento después de cada evento de precipitación. El cálculo de la capacidad del colector se realizó utilizando la fórmula propuesta por Djorovic (1977):

$$W = F \times h \times f \quad (2)$$

Donde :

W : Volumen del colector (litros)

F : Area de la parcela de erosión (m²)

h : Magnitud de la tormenta máxima a un nivel de probabilidad de 1 por ciento (mm)

f : Coeficiente de escurrimiento (%).

Antes del establecimiento de las parcelas, se preparó el suelo mecánicamente, mediante la utilización de un arado de disco; se procedió a la desinfección con Furadan a razón de 50 kg/ha, y al acondicionamiento de las hileras a favor de la pendiente con escardillas. Finalmente se procedió a la

colocación de las "semillas" de papa y los rizomas de pasto en las respectivas parcelas; la desinfección de la semilla de papa se efectuó con una mezcla de insecticida más fungicida:

Malathion (0,50%) + Pyrimor (0,5%) + Dithane M-45 (2,5%) + Benlate (0,1%).

La aplicación de fertilizante se realizó en base a los niveles de fertilidad existentes (Tabla A7 del Apéndice) y a los requerimientos de cada cultivo.

Al cultivo de papa se le aplicó 960 gr de fertilizante 15 - 15 - 15 por parcela en el momento de la siembra. Después de 24 días se le aplicó Urea como fertilización complementaria; coincidiendo esta última aplicación con las labores de deshierbe y aporque. Durante el ciclo del cultivo se realizaron otras aplicaciones que se presentan en la Tabla 4.

Tabla 4. Distribución de las Aplicaciones de Productos Químicos Durante el Cultivo de la Papa.

Días después de la siembra	Productos
24	Adherente + Fung. + Insect.+ Abono foliar
32	Adherente + Fung.
46	Adherente + Fung. + Insect.+ Abono foliar
54	Adherente + Fung. + Abono foliar
67	Adherente + Fung. + Insect.
75	Adherente + Fung.
79	Adherente + Fung.
83	Adherente + Fung.

El cultivo de papa presentó un ataque de Candelilla tardía, para la cual se utilizaron con éxito fungicidas tales como: Bayleton y Manzate; 6 aplicaciones, 2 por semana.

Al pasto se le aplicó en el momento de la siembra, 400 gr por parcela de fertilizante 15 - 15 - 15; 30 días después de la siembra se realizó una fertilización complementaria de 100 kg/ha de Urea.

Materiales y Equipos

Los materiales y equipos que fueron necesarios para el establecimiento e instalación de las parcelas de erosión con sus respectivos tratamientos y repeticiones, así como también para la medición y evaluación de las diferentes variables consideradas en la investigación, fueron los siguientes:

Materiales

a- Establecimiento de las parcelas

- 16 láminas de cinc de 3,05 x 0,86 m
- 1 rollo de alambre galvanizado
- 5 tubos de PVC 3,0 m de longitud y 7,62 cm de diámetro
- 1 rollo de cuerda o cabuya
- 9 tanques metálicos de 210 litros de capacidad
- 1 rollo de plástico de 20 m
- 50 estacas de madera, utilizadas en la delimitación de las parcelas.

b- Insumos para la aplicación de los tratamientos en las parcelas experimentales.

- 20 kg de semilla de papa, variedad granola
- 35 kg de rizomas de pasto kikuyo
- Fertilizantes: 8 kg de fertilizante Compuesto Triple 15 - 15 - 15 y 5 kg de Urea
- Fungicidas: 1 kg de Bayleton, 1 kg de Manzate, 1 kg de Dithane M - 45, 1 kg de Benlate
- Insecticida: 1 kg de Malathión al 0,5%, 1 kg de Pymor al 0,5% y 1 kg de Furadan
- Herbicida: 1 kg de Gramoxone
- Adherente: Torton, 1 cc por L de solución

c- Materiales para la toma de muestras y análisis

- 100 Bolsas de polietileno de 2 kg
- 30 bolsas plásticas de 10 kg
- 1 balde plástico de 10 litros
- 36 Frascos plásticos de 10 litros
- 36 vasos de precipitación de 700 cc
- Rollos fotográficos (papel y diapositiva)
- Reactivos para el análisis químico de las muestras.

Equipos

a- Establecimiento de las parcelas

- Tractor
- Arado de discos
- Rastra

- Clinómetro
 - Cinta métrica
 - Machetes
 - Azadas
 - Barras
 - Palas
 - Barreno
- b- Registros de datos e información en el campo y laboratorio
- Balanza de precisión
 - Fluviógrafo
 - Pluviómetro
 - Equipo de laboratorio para el análisis de características físicas y químicas de los suelos
 - Cámara fotográfica profesional
 - Escalera triangular extendible.

Descripción de los Tratamientos

Los tratamientos estudiados y su descripción se presentan en la Tabla 5. Tal como señalado anteriormente, para cada uno de los tres tratamientos se consideraron 3 repeticiones para un total de 9 parcelas (Figura 4).

La disposición de los surcos a favor de la pendiente (9%) se realizó con el fin de evitar la acción de una práctica de control de la erosión, como lo es el trazado de surcos

Tabla 5. Descripción de los Tratamientos Ubicados en Suelo Clasificado como Humitropept típico con una Pendiente de 9 %. IIAP - ULA, Edo Merida.

No	Tratamiento	Descripción del tratamiento
1	Testigo	Suelo mantenido sin vegetación y ligeramente disturbado superficialmente con azada a favor de la pendiente.
2	Papa	Sembrado a favor de la pendiente, distancia entre surcos <u>8 cm</u> y entre plántulas 30 cm, densidad de siembra equivalente 50.000 plántulas/ha, deshierbe (herbicida) y aporque 24 días después de la siembra, desfoliación con herbicida 85 días después de la siembra, cosecha 93 día después de la siembra.
3	Pasto	Siembra por rizomas, distancia entre hileras 30 cm a favor de la pendiente, corte a 10 cm de altura a los 52 y 93 días después de la siembra, aplicación de urea.

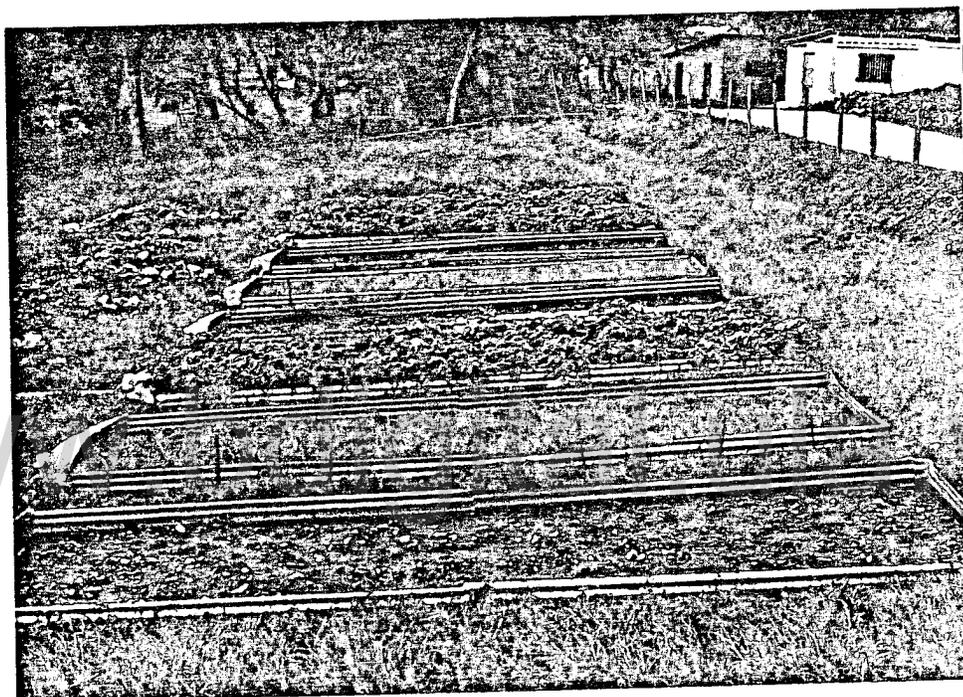


Figura 4. Ubicación de los Tratamientos y sus Repeticiones. En Orden Desde el Primer Plano estan: Testigo, Pasto, Papa, Testigo, Pasto, Testigo, Papa, y Testigo. IIAP - ULA, Edo Mérida.

perpendiculares a la pendiente; de esta manera se determinó solamente la acción de la cobertura brindada al suelo por los cultivos evaluados bajo las condiciones locales de manejo. Esta consideración tiene particular importancia en la evaluación del factor cobertura - manejo en base a las metodología de la EUPS.

La evaluación de la cobertura y grado de protección característico de cada cultivo se realizó en sus diferentes etapas de crecimiento, bajo las prácticas de manejo locales, para lo cual se contó con el asesoramiento de especialistas en horticultura y forrajes del IIAP.

Métodos de Evaluación

Establecidas las parcelas de erosión con los tratamientos y repeticiones consideradas, se procedió a la observación y medición consecuente de la pérdida de suelo y del volumen de escurrimiento durante todo el período de investigación, que estuvo comprendido entre la siembra y 10 días después de la cosecha. Estas determinaciones diarias se agruparon en 4 etapas, tomando como referencia las 5 etapas de crecimiento consideradas por Wischmeier (1960).

Dado que las tierras donde se ubicó el experimento son utilizadas durante todo el año en actividades agrícolas no se consideró la primera etapa descrita por Wischmeier (1960) que va desde la labranza hasta la siembra, el cual es un período

de barbecho usual en climas templados. En este caso la siembra se realizó seguido a las labores de preparación del suelo.

Las etapas consideradas se describen a continuación:

Etapas 1. (de la siembra al primer deshierbe y aporque)

Esta etapa tiene su inicio en el momento de la siembra y finaliza 24 días después con la realización del deshierbe y el aporque; para dar forma a los surcos especialmente en el cultivo de la papa. Simultáneamente al aporque se realizó fertilización complementaria con urea en cobertera. Durante esta etapa se evaluaron 8 eventos de precipitación, sus efectos sobre las pérdidas de suelo y la producción de escurrimiento.

Etapas 2 (Desde el deshierbe y aporque hasta el primer corte en el pasto y el desarrollo de un 70%, aproximadamente de cobertura en la papa)

Periodo que incluye 28 días después de la finalización de la primera etapa. Se evaluaron 10 eventos de precipitación y las consiguientes mediciones de sedimento y escurrimiento.

Etapas 3 (Desde el final de la Etapa 2 hasta la cosecha de papa y segundo corte en el pasto)

Periodo que incluye 41 días después de la finalización de la segunda etapa. Paralelamente a la cosecha de papa se efectuó el segundo corte en el pasto. Durante esta etapa se

eliminó el follaje del cultivo de papa con aplicación de herbicida, la cual se realizó 8 días antes de su cosecha; esto con el fin de facilitar su maduración comercial (Guzmán, 1988).

Etapa 4 (Desde la cosecha de papa hasta el inicio de las labores de preparación del terreno para nueva siembra)

Periodo que comprendió 10 días después de la finalización de la anterior etapa; durante esta etapa no se sucedieron eventos de precipitación de importancia por lo cual no se presentan registros de mediciones en el campo.

Medición y Evaluación de las Pérdidas de Suelo y Esgurrimiento

Después de cada evento de precipitación con registro superior a 10 mm se procedió a la recolección de los sedimentos y a la determinación de los volúmenes de esgurrimiento.

Los sedimentos gruesos depositados en la bandeja fueron recolectados en una bolsa plástica con ayuda de una espátula para ser luego secados y pesados.

El volumen de esgurrimiento se determinó por medio de una lectura en el tanque graduado. El contenido del tanque se revolvió para tomar una muestra homogénea de un litro, esta labor fue facilitada por la malla - filtro instalada a la entrada del colector ubicado al pie de la parcela. Tal arreglo

permitió solamente el paso de las partículas finas que fueron colectadas junto con el escurrimiento en los tanques receptores.

La muestra tomada fue llevada al laboratorio donde se filtró y el residuo se secó a 105 °C, y posteriormente se pesó. El total de sedimentos suspendido en el tanque fue determinado por la relación entre la concentración de sedimentos en el volumen de la alicuota y aquel del colector al pie de la parcela. La pérdida de suelo en kg para cada evento se determinó por la suma del peso de los sólidos obtenidos en la bandeja más el peso de los sólidos en suspensión.

La pérdida total de suelo para el tiempo considerado en la investigación (24- VIII al 4- XII de 1988) para cada tratamiento considerado, fue igual a la suma de las pérdidas ocurridas en cada uno de los eventos de precipitación considerados, expresados en t/ha.

Estimación de las Pérdidas de Suelo y Caracterización del Efecto de la Cobertura y Manejo de los Cultivos a Través de la Ecuación Universal de Pérdida de Suelo "EUPS"

Cada uno de los factores de la EUPS fue determinado, en el campo, en base a la metodología presentada por Wischmeier y Smith (1978), expresando los valores obtenidos en unidades del Sistema Métrico:

Factor R, Precipitación y Escorrentía

Wischmeier (1959) encontró que los mejores indicadores de la capacidad de la lluvia para erosionar los suelos eran la energía total (E) y la intensidad máxima en 30 minutos (I_{30}) de duración de la lluvia; en base a esto se define el factor R como la suma del producto de estas dos características de la precipitación, para todos los eventos importantes de precipitación en un área durante un periodo de tiempo dado, generalmente un año. Matemáticamente puede expresarse de la siguiente manera:

$$R = \sum_{j=1}^n (EI)_j \quad (3)$$

Donde :

E : Energía total para un evento de precipitación (j/ha)

I : Intensidad máxima de la precipitación en 30 minutos
(mm/h)

Para el cálculo del EI_{30} , en la investigación, se consideraron aquellos eventos diarios que alcanzaron al menos 10 mm de lámina (Rodríguez, 1986). Lluvias menores de 10 mm y separadas de otros eventos de precipitación por más de 6 horas no fueron incluidos en los computos. Tal decisión fue tomada en base a las referencias metodológicas, y considerando las buenas condiciones de permeabilidad del suelo estudiado, bajo las cuales no se observó producción de escurrimiento para lluvias por debajo de los límites establecidos. Para determinar la energía cinética total el evento de

precipitación fue dividido en periodos con aproximadamente la misma intensidad, para cada periodo la energía cinética fue calculada de acuerdo a la siguiente ecuación (Foster et al., 1981 citado por López, 1988):

$$e = 118,9 + 87,3 \log_{10} I \quad (4)$$

Donde :

e : Energía cinética (10^3 j/ha por cada mm de lluvia

I : Intensidad de precipitación (mm/h)

Para determinar la energía cinética total del evento, la energía cinética calculada para cada periodo se multiplicó por cada mm de lluvia que cayó durante ese periodo, finalmente estos productos fueron sumados.

Factor K, Erosionabilidad del Suelo

El factor K evalúa la erosionabilidad del suelo definida como la vulnerabilidad del mismo a la acción de los agentes erosivos (Troeh et al., 1980 citado por López, 1988).

Este factor fue evaluado sobre las parcelas testigo, mantenidas sin vegetación y con laboreo en dirección de la pendiente. Conocido el valor de cada uno de los factores, y dado que bajo estas condiciones $CP=1$ se tiene que:

$$K = \frac{A}{RLS} \quad (5)$$

Donde:

A : Pérdida de suelo (t/ha)

R : Factor de precipitación y escorrentia (10^7 j.mm/ha.h)

LS : Factor Pendiente, adimensional

El factor K también se determinó a través de la ecuación desarrollada por Wischmeier y Smith (1978) que se presenta a continuación:

(6)

$$K = \frac{2,11 M^{1,14} (10^{-14}) \times (12-a) + 3,25(b-2) + 2,5 (c-3) 11,317}{100}$$

Donde:

M : % de limo + % de arena muy fina x (100 - % de arcilla)

a : % de materia orgánica

b : Estructura del suelo codificada

c : Clase de permeabilidad en el perfil codificado.

K : Factor erosionabilidad del suelo (t.ha.h/ha. 10^7 j.mm).

Factor LS, Longitud e Inclinación de la Pendiente

Se define el valor "LS" como la relación entre la pérdida de suelo de la pendiente en estudio y la pérdida de suelo bajo la condición de referencia, la cual corresponde una longitud de pendiente de 22,1 m y una inclinación de 9 por ciento.

Para el cálculo del factor LS se utilizó la ecuación presentada por Wischmeier y Smith (1978) que se describe a continuación:

$$LS = \left(\frac{x}{22,1} \right)^m \quad (0,065 + 0,045 s + 0,0065 s^2) \quad (7)$$

Donde:

X : Longitud de la pendiente en el campo (m)

s : Inclinação de la pendiente (%)

m : Exponente que varia con la inclinación de la pendiente

Para el caso bajo estudio, se le dió a "m" un valor de 0,5 por cuanto la pendiente de las parcelas de erosión consideradas era mayor al 5 % .

Factor C, Cobertura y Manejo de Cultivo

El factor C es la relación de pérdida de suelo bajo condiciones específicas de manejo de cultivos, y la correspondiente pérdida en condición de suelo desnudo y labranza, sobre suelo de la misma condición de pendiente y bajo las mismas condiciones climáticas. Este factor considera el tipo y densidad de cobertura vegetativa del suelo y todas las prácticas de manejo relacionadas, tales como: tiempo para realizar las operaciones, control de maleza, labranza fertilización, etc.

El factor C para cada uno de los cultivos en particular y en cada una de las etapas consideradas se determinó de acuerdo a los siguientes pasos:

- a- Se determinó la distribución, durante el periodo de investigación, del factor R
- b- Se establecieron las relaciones de pérdida de suelo para cada uno de los cultivos en sus diferentes etapas

- c- Se determinaron los valores de "C" ajustados para cada etapa del cultivo de acuerdo a la distribución de "R" para cada una de ellas
- d- Se determinó el factor C ponderado para cada cultivo de acuerdo a la siguiente formula:

$$C = \frac{\sum_i C_i R_i}{\sum_i R_i} \quad (8)$$

Donde:

- i : Período de cultivo
- R_i : Fracción de "R" correspondiente a cada etapa
- C_i : Factor C promedio para cada etapa del cultivo.

Además se determinó la evolución de la cobertura y la altura del dosel de las plantas para poder determinar así su influencia sobre el factor C. Dicha evaluación se realizó de la siguiente manera: se delimitó un área de 1 metro cuadrado sobre cada una de las parcelas a evaluar, y sobre la misma se tomaron fotografías verticales. Esto se hizo para cada una de las etapas consideradas, a fin de determinar la evolución del grado de cobertura de los cultivos. Para ello se utilizó la metodología propuesta por Dissmeyer y Foster (1980), citados por Fález et al. (1985).

La altura del cultivo se midió simultáneamente a la toma de las fotografías, para evaluación de la cobertura del follaje para lo cual se realizaron 8 observaciones por parcela. Las mediciones se hicieron desde el suelo hasta la proyección

horizontal de la máxima cobertura del dosel sobre el suelo.

Factor P, Prácticas de Medidas de Lucha Contra la Erosión

Este factor, tal como referido en el capítulo 2, indica la relación entre las pérdidas de suelo que resultarían en un terreno arado y sembrado en dirección de la pendiente y aquellas que ocurrirían si se tuviesen en consideración determinadas prácticas para el control de la erosión. El valor del factor P, en el caso específico de este experimento, es igual a 1; labranza y siembra en dirección de la pendiente.

Una vez obtenidos cada uno de los factores de la EUPS, de la manera descrita, se procedió a determinar las pérdidas de suelo bajo cada tratamiento. Los valores resultantes fueron contrastados con los obtenidos experimentalmente por medición directa en el campo.

Evaluación de las Pérdidas de Nutrientes Arrastrados en los Sedimentos

Del volumen de suelo erosionado en cada parcela correspondiente a cada evento de precipitación se tomó una muestra representativa la cual fue enviada al laboratorio, para los correspondientes análisis por parcela y por etapa. De tal manera que al final de cada etapa se tuviera información de la concentración de los nutrientes N y P y de la materia orgánica arrastrada en los sedimentos colectados. Los métodos utilizados en la determinación fueron: Micro - Kjeldhal

(Bremner, 1965) y Olsen (Jackson, 1964) para el nitrógeno y fósforo respectivamente. El carbono orgánico se analizó según el método de Walkley - Black (Allison et al., 1965).

Evaluaciones Complementarias de las Propiedades Físicas y Químicas de los Suelos

Propiedades Físicas

Es de anotar que no se realizó descripción de calicatas puesto que era información disponible, Romero (1980). Análisis de calicata y descripción del perfil típico se muestran en las Tablas A1, y A2 del Apéndice.

En el horizonte superficial se evaluaron las siguientes propiedades físicas: estabilidad estructural, velocidad de infiltración y densidad aparente. También se tomaron muestras al inicio y al final de la investigación para evaluar las condiciones de la fertilidad del suelo.

Para determinar la estabilidad estructural se tomaron muestras de suelo de las diferentes parcelas realizándose el análisis mediante la metodología de Yoder (1936) modificada. Se aplicó la fórmula de Mazurak (1950) para la determinación del tamaño promedio de agregados estables al agua.

La velocidad de infiltración se evaluó previo a la instalación del experimento a través del método ideado por Musgrave (1935), citado por el Manual 60 del Departamento de Agricultura de los Estados Unidos de América (USDA, 1970).

Para realizar estas pruebas se usaron cilindros de hierro de 25 cm de diámetro y 40 cm de altura enterrados a una profundidad entre 25 y 30 cm con una carga de agua entre 10 - 15 cm. Para la evaluación de la infiltración básica se graficaron, en papel logarítmico, los datos experimentales correspondiente a las láminas acumuladas en relación al tiempo, siguiendo la ecuación de flujo empírica, propuesta por Kostiaikov (1932).

La evaluación de la densidad aparente se realizó, utilizando el método de la excavación (Fla, 1977), conjuntamente con las pruebas para la determinación de la velocidad de infiltración.

Análisis Estadístico

El análisis estadístico se realizó con el auxilio de una microcomputadora PC - Kaypro, del Centro de Computación de la Facultad de Ciencias Forestales de la Universidad de los Andes en Mérida. Para ello se utilizó el Paquete Estadístico Stat-Pack (Northwest Analytical, 1982) a través de los programas ANOVA1 para los Análisis de Varianza, CORREL para las Correlaciones y ONEVREG para los Análisis de Regresión Lineal. Las Pruebas de Significación de Duncan se realizaron a través del programa ANOVA del Paquete Estadístico S.A.S. (SAS Institute Inc., 1986).

CAPITULO IV
RESULTADOS Y DISCUSION

Resultados

Los resultados de la presente investigación se plantean agrupados en relación a cada una de las variables bajo estudio, lo que permite observar el efecto que los diferentes tratamientos han tenido sobre cada uno de ellos en particular. De la misma manera se procede con el análisis estadístico de los datos recabados. Una comparación entre valores medidos en el campo y los valores estimados utilizando la EUPS, también se incluyen en este capítulo.

Evaluación de la Cobertura Vegetal a Través del Ciclo de los Cultivos

Los resultados de las mediciones realizadas a la cobertura y altura del dosel de los cultivos considerados al inicio y al final de cada una de las etapas evaluadas, se presentan en la Tabla 6. Es de hacer notar el cambio en cobertura del pasto kikuyo al comienzo de la tercera y cuarta etapa debido a los cortes periódicos a los cuales fue sometido.

Al analizar los valores de cobertura del dosel en la Tabla 6, se puede observar que, durante el mismo lapso de tiempo, la protección que brinda al suelo el pasto es mucho mayor que la de la papa, comparativamente, cuando el pasto presenta una cobertura del 100% al finalizar la segunda y tercera etapa, la papa solamente alcanza un valor máximo, del 78%; valor

Tabla 6. Valores de Cobertura (%) y Altura (cm) del Dosel Alcanzados por los Cultivos Papa y Pasto en cada una de las Etapas Evaluadas.

Tratamiento	Etapa	Cobertura (%)		Altura (cm)	
		Inicio	Final	inicio	Final
Papa	1 ^{ra}	0	21	0,0	12,5
	2 ^{da}	21	72	12,5	35,6
	3 ^{ra}	72	15*	35,6	18,0***
	a	78		40,0	
Pasto	1 ^{ra}	5	60	0,0	11,6
	2 ^{da}	60	100	11,6	16,5
	3 ^{ra}	75**	100	10,0	33,0
	4 ^{ta}	75**	80	10,0	16,0

a : medición realizada para el momento de la desfoliación, 8 días antes de finalizar la 3^{ra} etapa.

* : % de cobertura 8 días después de la desfoliación.

** : % de cobertura después del corte

***: altura del dosel 8 días después de la desfoliación.

correspondiente al momento de realizar la desfoliación del cultivo, 8 días antes de finalizar la tercera etapa.

Resultados Obtenidos de la Medición de las Pérdidas de Suelo y el Esgurrimiento como Producto de la Erosión

Los valores obtenidos de las mediciones en el campo y de los análisis de laboratorio para la evaluación del efecto de la cobertura y el manejo considerados sobre la pérdida de suelo, escurrimiento y pérdida de nutrimentos se presentan en las Tablas A6 y C1 del Apéndice. En la Tabla 7, se presentan los valores promedios obtenidos de cada una de las variables mencionadas por etapa y para el periodo total de investigación.

Tabla 7. Cantidad Promedio, de tres repeticiones, de Escurrimiento, de Sedimento y de pérdida de nutrientes por Tratamiento en cada una de las Etapas Evaluadas.

Etapa	TESTIGO						TRATAMIENTOS											
	Escurr. (L)	Sediment. (g)	MO	N	P	Pérdida de Kg/ha	Escurr. (L)	Sediment. (g)	MO	N	P	Pérdida de Kg/ha	Escurr. (L)	Sediment. (g)	MO	N	P	Pérdida de Kg/ha
1ra	613,10	19.340,94	1.539,46	43,52	0,87	750,32	18.589,10	1.171,04	31,60	0,67	319,30	5.215,66	377,58	11,31	0,26			
2da	501,73	17.406,34	1.086,96	42,51	0,94	319,30	7.742,69	434,73	17,08	0,38	61,07	417,91	23,91	0,89	0,02			
3ra	2.470,63	47.117,71	3.611,92	159,40	1,86	1.559,77	3.278,87	234,23	8,44	0,14	195,11	148,64	7,93	0,30	0,007			
Total	3.585,66	83.864,99	6.248,34	245,43	3,67	2.629,59	29.610,66	1.840,00	57,13	1,19	573,48	5.782,21	409,42	12,50	0,287			

Escurrimiento

Al analizar la Tabla 7, con respecto a los volúmenes de escurrimiento por etapa para cada tratamiento, se observan valores relativos muy bajos de volúmenes de escurrimiento para el tratamiento con pasto, especialmente durante la segunda y tercera etapa, para cuando la cobertura del dosel alcanza valores de 100% y la altura del mismo 16,5 y 33,0 cm, respectivamente. En la primera etapa la cobertura y altura del dosel del con pasto alcanzaron valores de 60% y 11,6 cm respectivamente. Aún así, en esta primera etapa, el pasto refleja un valor menor de escurrimiento que el tratamiento con papa, con una cobertura de 21% y una altura del dosel de 12,5 cm. Las parcelas bajo cultivo de papa presentaron durante la primera etapa un mayor escurrimiento que el testigo. Esto pudo deberse a la disposición de las hileras del cultivo con surcos en dirección de la pendiente y a la ausencia de cobertura vegetal durante el tiempo transcurrido entre la siembra y la emergencia de las plántulas, lo cual facilitó la concentración del volumen de escurrimiento generado. Además durante el período mencionado anteriormente, entre la siembra y la emergencia de las plántulas, se presentó una lluvia 51,4 mm con duración de durante 4 horas, coincidiendo con la máxima intensidad en 30 min registrada (26mm/h) ocurrida durante el período de investigación, causando el rebosamiento de los tanques en los tratamientos testigo. El tratamiento con papa presentó el mínimo escurrimiento durante la segunda etapa,

primera y tercera, igual comportamiento, pero con valores superiores, se presentó en el tratamiento testigo. Este comportamiento del testigo se debe a la ausencia de una cobertura vegetal aunado a la formación de un encostramiento superficial, esto último especialmente durante la tercera etapa, lo que facilitó ocurriesen mayores volúmenes de escurrimiento en el testigo.

El escurrimiento acumulado, expresado en mm, durante todo el período de observación bajo cada uno de los tratamientos se puede observar en la Figura 5. De la interpretación de dicha figura se puede anotar que existe una marcada diferencia entre el testigo y los tratamientos con papa y con pasto. Este último tratamiento mantiene una tendencia uniforme, curva de menor pendiente que las demás, debido a la acción de la cobertura del pasto que hizo que los valores de escurrimiento en este tratamiento fuesen los más bajos (Tabla 7). Ello es evidente, en la Figura 5, al finalizar la segunda etapa cuando se realiza el primer corte en el pasto; observándose un cambio brusco en la uniformidad de la tendencia del escurrimiento. El tratamiento con papa presenta mayores valores en el escurrimiento acumulado poco antes de finalizar la segunda etapa. Este comportamiento se puede atribuir, principalmente, a la presencia de surcos a favor de la pendiente y a una cobertura vegetal todavía no bien establecida.

En la Tabla 8, se presenta el total de escurrimiento por

www.bdigital.ula.ve

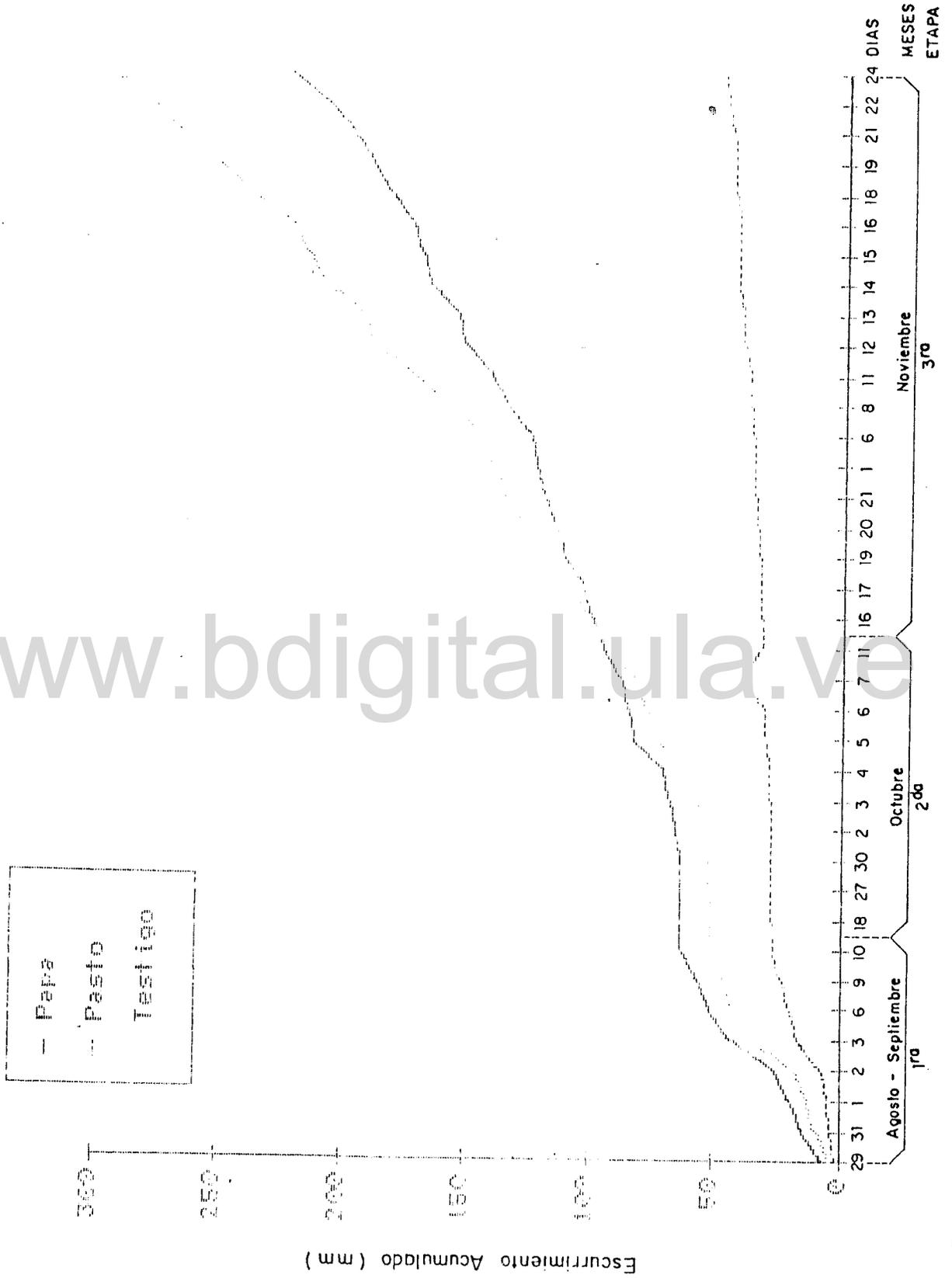


Figura 5. Escarriamiento Acumulado en mm para los tratamientos testigo, papa y pasto.

Tabla 6. Escurrimiento acumulado en mm y en Porcentaje del Total de Precipitación Caída (876,30 mm) en el Periodo (29 de Agosto a el 24 de Noviembre) para cada Tratamiento.

Tratamiento	Escurrimiento	
	(mm)	(%)
testigo	298,80	34,10
papa	219,14	25,01
pasto	47,96	5,47

tratamiento: en el testigo se reporta un escurrimiento, expresado en % de la precipitación total, de 34,10%; seguido del tratamiento con papa con el 25,01% y finalmente el tratamiento con pasto con 5,47%.

Pérdida de Suelo

Valores de pérdida de suelo por etapa y tratamiento son presentadas en la tabla 7, en dicha tabla se puede observar que el testigo presenta las mayores pérdidas en la tercera etapa, luego en la primera y finalmente en la segunda. Este comportamiento es explicado por la concentración del 56% del índice de erosividad de las lluvias (EI_{30}) en la tercera etapa y de 23 y 21% en la primera y segunda etapa, respectivamente. En relación a los tratamientos con papa y con pasto, estos presentan la mayor pérdida de suelo en la primera etapa, cuando los valores de la cobertura vegetal son mínimos. Para el tratamiento con pasto las pérdidas disminuyen en la segunda y tercera etapa, con un incremento en los valores de la

cobertura y altura del dosel; en el tratamiento con papa estas pérdidas disminuyen durante la tercera y segunda etapa, esto debido a que se alcanzan los mayores valores de la cobertura del dosel especialmente durante la tercera etapa.

La pérdida de suelo acumulada expresada en t/ha para el período total de evaluación se presenta en la Figura 6. En la misma figura, se aprecian las diferencias entre el testigo y los demás tratamientos, indicándo que la presencia de cobertura vegetal es determinante en la reducción de la pérdida de suelo.

Se observan cambios bruscos en las tendencias de las pérdidas de suelo de los diferentes tratamientos, debido a que ocurren incrementos significativos en la erosividad de la precipitación (Figura 10), tal como el ocurrido el 3 de septiembre de 1988 dado por una lluvia de 51,4 mm e intensidad máxima en 30 minutos de 26 mm/h (Tabla B2 del Apéndice). Particularmente durante la primera etapa de la evaluación si se considera la escasa o ninguna cobertura vegetal en los tratamientos con pasto y con papa, respectivamente, ello permite justificar que, el tratamiento con papa se comportara similar al testigo. A partir del momento en que se establece una cobertura vegetal en los tratamientos se presenta uniformidad en las tendencias, siendo más acentuada en el pasto.

www.bdigital.ula.ve

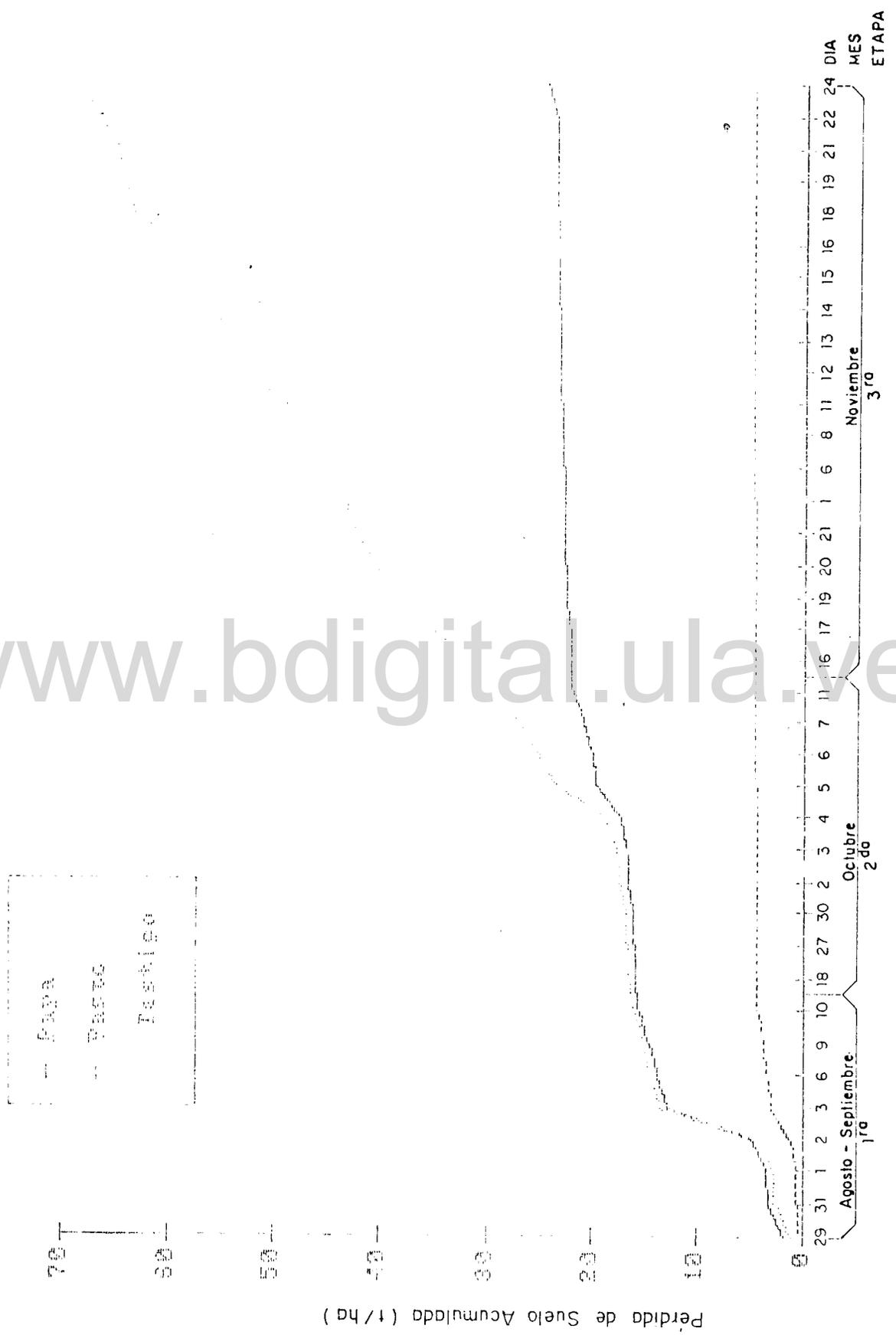


Figura 6. Pérdida de Suelo Acumulada en t/ha en los tratamientos testigo, papa y pasto.

Tabla 9. Pérdida Total de Suelo en t/ha para Cada Tratamiento

Tratamiento	Pérdida de Suelo (t/ha)
Testigo	69,89
papa	24,67
pasto	4,82

La Tabla 9, presenta la pérdida acumulada de suelo por tratamiento para el período total de evaluación: para el testigo se reporta una pérdida de suelo de 69,89 t/ha y para los tratamientos con papa y pasto 24,67 y 4,82 t/ha respectivamente.

Pérdida de Materia Orgánica y Nutrientes Arrastrados en los Sedimentos

La Tabla 7, ya citada muestra también valores de pérdidas de M.O. y nutrientes arrastrados en los sedimentos por etapa y por tratamiento. Estos revelan, para el testigo, que la pérdida de materia orgánica fue superior en la tercera etapa, seguido de la primera y finalmente la segunda. Con respecto al nitrógeno, presenta el mismo comportamiento que el de la materia orgánica. Con relación a la pérdida de fósforo, la tercera etapa del testigo presenta los mayores valores, seguido de la segunda y finalmente la primera. En los demás tratamientos, papa y pasto, presentan igual comportamiento por etapa que el de la materia orgánica y el nitrógeno.

En la Figura 7, se muestran las pérdidas totales de

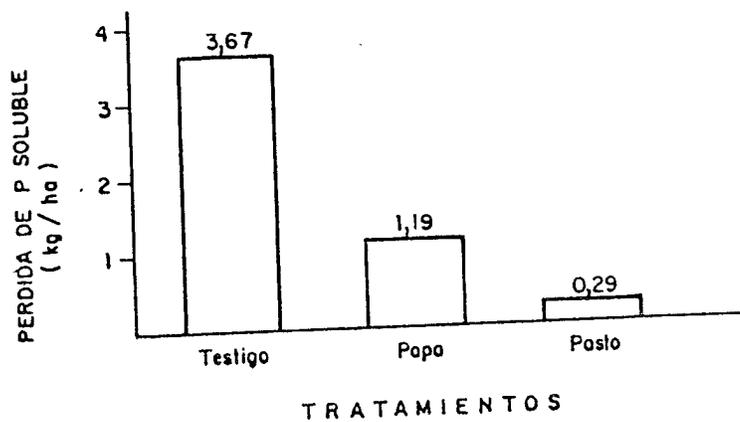
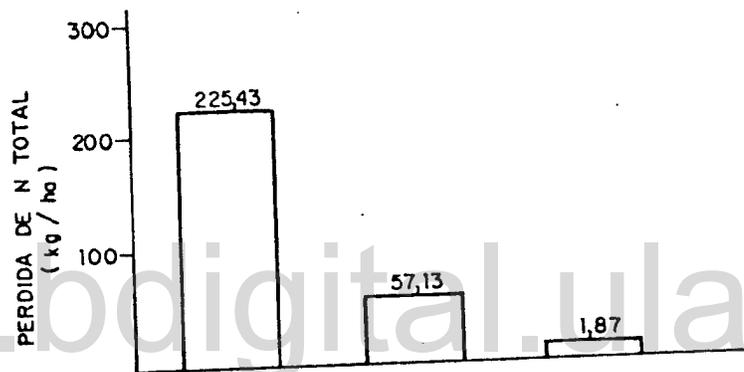
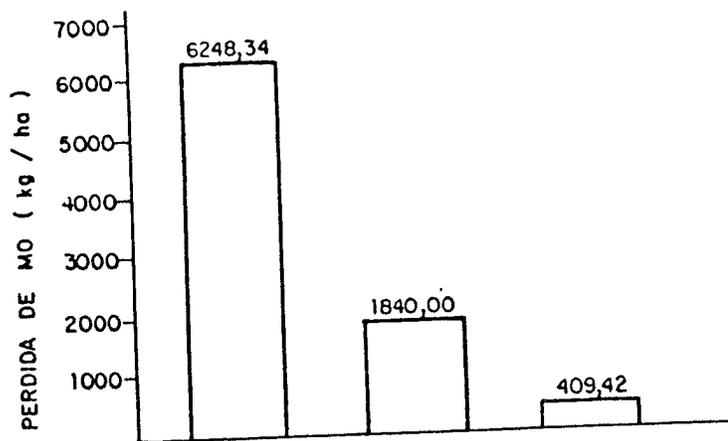


Figura 7. Pérdidas totales de nutrientes en los sedimentos arrastrados bajo condiciones específicas de uso de la tierra durante el período de investigación.

nutrimentos, expresada en t/ha, bajo los tratamientos considerados durante todo el periodo de observación; determinándose en la misma figura que el testigo presenta las mayores pérdidas de materia orgánica, nitrógeno y fósforo seguido de los cultivos papa y pasto. Las pérdidas de el elemento potasio no pudieron ser determinadas por problemas a nivel de laboratorio, debido a daños en los equipos necesarios para el análisis de dicho elemento.

Análisis de Varianza y Pruebas de Significación de Duncan

El análisis de varianza realizado para cada una de las tres variables: escurrimiento, pérdida de suelo y de nutrimentos en las etapas evaluadas reportó diferencias altamente significativas entre los tratamientos (Tabla 10) recurriéndose entonces a la prueba de significación de Duncan, cuyo resumen de resultados por variable y tratamiento evaluado, para cada una de las etapas consideradas y para el total del periodo de investigación, se presenta en la Tabla 11.

Un reporte de los resultados obtenidos en los referidos análisis estadísticos (Tabla D1 a la D25 del Apéndice), para cada variable estudiada se presenta a continuación.

Escurrecimiento

La prueba F del análisis de varianza, para la variable escurrimiento presentó diferencias altamente significativas, en cuanto a la producción de escurrimiento por tratamiento,

Tabla 10. Análisis de Varianza, en Relación a los Tratamientos Practicados, de las Variables Escurrimiento, Pérdida de Suelo y Nutrientos. Resumen para las Etapas Evaluadas y el Período Total de Investigación.

Etapa	Variables				
	Escurrimiento	Pérdidas			
		Suelo	MO	Ntotal	Psoluble
1 ^{ra}	70,61**	476,86**	42,17**	25,18**	28,89**
2 ^{da}	528,03**	464,30**	143,48**	86,39**	55,47**
3 ^{ra}	134,78**	6654,15**	204,82**	323,16**	108,05**
Total	365,35**	1591,92**	211,81**	20,48**	354,10**

** : Significativo a un nivel de probabilidad del 1%.

Tabla 11. Pruebas de Significación de Duncan, Variables Escurrimiento, Pérdida de Suelo y de Nutrientos. Resumen para las Etapas Evaluadas y el Período Total de Investigación.

Etapa	Orden de Tratamiento ^{1/}				
	Variables				
	Escurrim.	Perd. Suelo	MO	N total	P soluble
1 ^{ra}	A-C-B	A-(B-C)	A-B-C	A-B-C	A-(B-C)
2 ^{da}	A-B-C	A-B-C	A-B-C	A-B-C	A-B-C
3 ^{ra}	A-B-C	A-B-C	A-B-C	(A-B)-C	(A-B)-C
total	A-B-C	A-B-C	A-B-C	(A-B)-C	A-B-C

^{1/} Ordenadas de menor a mayor valor. Agrupaciones de letras entre parénticos significan que no hay diferencias importantes en cuanto a la acción de los Tratamientos aludidos sobre la variable en referencia.

A: Pasto B: Papa C: Testigo.

por etapas y en el periodo total de observación (Tablas D1, D2, D3 y D4 del Apéndice). Las pruebas de Duncan, para esta variable muestran un comportamiento superior del tratamiento con pasto, con la menor producción de escurrimiento, seguido por el tratamiento con papa y finalmente el testigo con el mayor volumen de escurrimiento; excepto en la primera etapa donde el mejor tratamiento sigue siendo el pasto seguido de el testigo y finalmente el tratamiento con papa con el mayor volumen de escurrimiento. Tal comportamiento, significativamente diferente se mantuvo durante todo el periodo de evaluación. (Tabla D5 del Apéndice).

Pérdida de Suelo

La prueba F, del análisis de varianza para esta variable, por tratamiento por etapas y para el total del periodo de investigación, detectó diferencias altamente significativas, como lo muestran las Tablas D6, D7, D8 y D9 del Apéndice. Las pruebas de Duncan para esta variable presentan un comportamiento superior del tratamiento con pasto, con la menor pérdida de suelo, seguido por el tratamiento con papa y finalmente el testigo con la mayor cantidad de pérdida de suelo. Tal comportamiento significativamente diferente se mantuvo durante todo el periodo de evaluación, excepto en la primera etapa donde el comportamiento del tratamiento con papa y el testigo presentan diferencias no significativas existiendo un comportamiento significativamente diferente con

respecto al tratamiento con pasto (Tabla D10 del Apéndice).

Pérdida de M.O. y Nutrientes Arrastrados en los Sedimentos

La prueba F del análisis de varianza, (Tabla D11 a la D24 del Apéndice) arrojó diferencias altamente significativas, en cuanto al comportamiento de los tratamientos evaluados en relación a las pérdidas de nutrientes, para las etapas consideradas y en el período total de investigación.

Las pruebas de Duncan, para la variable pérdida de materia orgánica, muestran un comportamiento superior del tratamiento con pasto, con la menor pérdida de materia orgánica, seguido por el tratamiento con papa y finalmente el testigo con la mayor pérdida de materia orgánica. Tal comportamiento significativamente diferente se mantuvo durante todo el período de evaluación (Tabla D15 del Apéndice). Con respecto a la variable pérdida de nitrógeno total las pruebas de Duncan presentan un comportamiento similar al de la materia orgánica aunque en la tercera etapa y en el total del período de evaluación se observó un comportamiento con diferencias no significativas entre los tratamientos con pasto y con papa existiendo un comportamiento significativamente diferente con respecto al testigo (Tabla D20 del Apéndice). Finalmente para la variable pérdida de fósforo soluble, las pruebas de Duncan muestran un comportamiento superior del tratamiento con pasto, con la menor pérdida de fósforo soluble, seguido por el

tratamiento con papa y posteriormente el testigo con la mayor pérdida de fósforo soluble. Tal comportamiento, significativamente diferente se mantuvo durante todo el período de investigación, excepto en la primera etapa en donde se presentó un comportamiento con diferencias no significativas entre el tratamiento con papa y el testigo existiendo un comportamiento significativamente diferente con respecto al tratamiento con pasto y en la tercera etapa donde también se presentó un comportamiento con diferencias no significativas entre los tratamientos con pasto y con papa existiendo diferencias significativamente diferentes con respecto al testigo (Tabla D25 del Apéndice).

Correlaciones Entre las Variables Evaluadas

Para las correlaciones entre variables se consideran las variables dependientes escurrimiento y pérdida de suelo en función de la lámina de precipitación y su intensidad, la erosividad (EI_{30}) y el escurrimiento (Tablas B2 y C1 del Apéndice). Así se contrastaron pares de valores para cada una de las etapas y para el período total de investigación; obteniéndose los resultados que se presentan en la Tabla 12, en la cual se encuentran los valores de las correlaciones significativas entre las variables anteriormente mencionadas.

En la Tabla 13 se presentan las ecuaciones de regresión entre pares de variables obtenidas en el total del período de investigación. A continuación se presentan los aspectos de

TABLA 12. Correlaciones Significativas de Pérdida de Suelo (g/parcela) y Escurrimiento (L/parcela) con Precipitación (m.m), Intensidad, (m.m/h), Erosividad de la Precipitación (E₃₀) y Escurrimiento; Bajo Condiciones Específicas de Uso de la Tierra Durante Tres Etapas de Crecimiento Evaluados y en el Total del Período de Investigación. IIAP-ULA, Estado Mérida.

Variable Dependiente	Variable Independiente	T R A T A M I E N T O 1/			P A S T O								
		T E S T I G O			E T A P A								
		Primera	Segunda	Tercera	Primera	Segunda	Tercera						
Escurrimiento	Precipitación	0,9402**	0,9323**	0,8186**	0,8465**	0,8421**	0,9209**	0,6596**	0,4694**	0,9022**	0,9117**	0,8045**	0,8523**
	Intensidad	0,8411**	0,7365*	0,6682**	0,6573**	0,7485*	0,7362*	0,6245**	0,4485**	0,7961**	0,7325**	0,6324**	0,6144**
	Erosividad	0,9363**	0,9530**	0,8368**	0,8260**	0,8788**	0,9524**	0,5736**	0,6314**	0,9097**	0,9624**	(0,7857**)	(0,7974**)
Pérdida de Suelo	Precipitación	0,9281**	0,8072**	NS	0,4417**	0,9030**	NS	NS	NS	0,9156**	0,8414**	NS	0,7030**
	Intensidad	0,9349**	0,7582**	NS	0,5670**	0,9075**	NS	NS	0,3959*	0,9097**	0,6775**	0,5084**	0,7354**
	Erosividad	0,9862**	0,8925**	0,6029**	0,6871**	0,9602**	NS	NS	0,5317**	0,9789**	0,8722**	0,5052*	0,8467**
	Escurrimiento	0,9519**	0,9452**	0,6429**	0,5496**	0,9186**	0,6585*	NS	0,9311**	0,9424**	0,9714**	0,5418*	(0,8151**)
TOTAL		TOTAL			TOTAL			TOTAL			TOTAL		

1/ NS = Estadísticamente no significativo a un nivel de probabilidad del 5%

* = Estadísticamente significativo a una Probabilidad del 5%

** = Estadísticamente significativo a una Probabilidad del 1%

() = Curva logarítmica; las demás son rectas

TABLA 13. Regresiones Significativas de Escurrimiento (L/parcela) y Pérdida de Suelo (g/parcela) en Función de Precipitación (mm), Intensidad (mm/h), Erosividad de la precipitación (EI30) y Escurrimiento L/parcela); Bajo Tres Tratamientos Durante el Total del Periodo de Investigación. IIAP-ULLA, Estado Mérida.

VARIABLE DEPENDIENTE(Y)	T R A T A M I E N T O			P A S T O	r ² 1/
	T E S T I G O	P A P A	P A S T O		
Escurrimiento	Y= - 36,58 + 5,64X	Y= - 22,83 + 4,04X	Y= - 7,14 + 0,93X	Y= - 7,14 + 0,93X	0,2156*
Intensidad	Y= - 35,27 + 9,94X	Y= - 29,28 + 7,68X	Y= - 14,59 + 2,22X	Y= - 14,59 + 2,22X	0,2827**
Erosividad	Y= - 27,62 + 74,841logX	Y= - 25,50 + 6,85X	Y= - 0,37 + 2,20X	Y= - 0,37 + 2,20X	0,8669**
Pérdida de Suelo	Y= - 1133,20 + 138,54X	Y= - 5807,25 + 67,92X	(ninguna significativa)	(ninguna significativa)	NS
Erosividad	Y= - 2450,43 + 345,78X	Y= - 2037,87X	Y= - 365,61 + 38,47X	Y= - 365,61 + 38,47X	0,1567*
Escurrimiento	Y= - 155,42 + 287,91X	Y= - 466,80 + 183,58X	Y= - 101,46 + 35,74X	Y= - 101,46 + 35,74X	0,2827**
	Y= - 384,43 + 18,17logX	Y= - 489,78 + 17,71X	Y= - 101,68 + 36,62X	Y= - 101,68 + 36,62X	0,4660**

1/ NS = Estadísticamente no significativo a un nivel de Probabilidad del 5%

* = Estadísticamente significativo a un nivel de Probabilidad del 5%

** = Estadísticamente significativo a un nivel de Probabilidad del 1%

mayor importancia referente a las correlaciones obtenidas durante el total del periodo de investigación, así como la graficación y ecuaciones de regresión entre pares de variables, seleccionadas tomando en cuenta los máximos valores de sus correlaciones. De tal manera que se seleccionó para cada variable dependiente (escurrimiento y pérdida de suelo) la que mayor influencia tuvo en el periodo de investigación.

Escurrimiento

Al analizar la Tabla 12, la variable escurrimiento Vs precipitación en el periodo total de investigación para cada uno de los tratamientos considerados presenta valores de coeficientes de correlación (r) muy altos a excepción del tratamiento con pasto donde el coeficiente de correlación es muy bajo ($r=0,4644$), debido al descenso del valor de dicho coeficiente presentado en la tercera etapa. Ello se puede asociar a la protección eficiente de la cobertura de la vegetación sobre el suelo que permitió un mayor grado de infiltración del agua en el suelo, dando lugar a menores volúmenes de escurrimiento en el tratamiento con pasto durante la mencionada etapa. El tratamiento con papa presentó un valor del coeficiente de correlación muy alto ($r=0,8465$). En ello, también se refleja la influencia de el establecimiento de una cobertura vegetal eficiente, especialmente durante la tercera etapa cuando presenta su más bajo valor del coeficiente de correlación ($r=0,8186$). Finalmente el testigo presenta el más

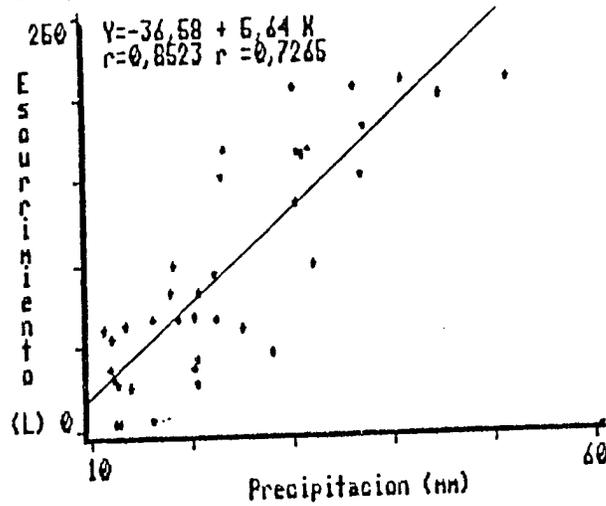
pasto que presenta un coeficiente de correlación bajo ($r=0,6314$), lo cual es debido al descenso presentado por el coeficiente de correlación en la tercera etapa, hecho que bien se podría atribuir a la acción efectiva de la cobertura vegetal al aumentar la capacidad de infiltración del agua en el suelo disminuyendo de esta forma el volumen de agua para el escurrimiento; ésto sucede especialmente cuando la cobertura del dosel alcanza valores entre el 75% y 100%, especialmente durante la tercera etapa del tratamiento con pasto. Para el tratamiento con papa la relación del escurrimiento Vs erosividad de la precipitación (Tabla 12) presenta un coeficiente de correlación muy alto ($r=0,8260$), presentándose un descenso debido al comportamiento presentado por la cobertura del dosel que alcanzó un valor del 78% durante la tercera etapa; tal parece que la vegetación desarrollada facilitó la infiltración del agua en el suelo disminuyendo el escurrimiento. Con respecto al testigo, presenta un coeficiente de correlación alto ($r=0,7360$), presentando una disminución de su valor con respecto a los coeficientes de correlación presentados en la primera y segunda etapa, ésto debido a la influencia ejercida por la disminución del valor del coeficiente de correlación presentado en la tercera etapa del testigo, lo que se debería a la alta pedregosidad superficial lo que podría asociarse con mayores tasas de infiltración del agua en el suelo, dado un menor encostramiento superficial, el cual aunque leve, se observó

particularmente durante la primera etapa bajo condición de suelo desnudo.

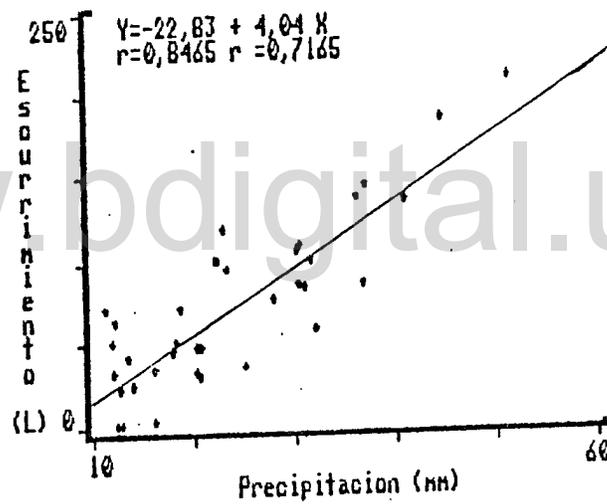
En la Tabla 13 se presentan las ecuaciones de regresiones significativas, dentro de las cuales se encuentran las correspondientes a el escurrimiento Vs lámina de precipitación, su intensidad, y la erosividad de la precipitación. En la Figura 8 se presentan los gráficos del escurrimiento Vs la variable independiente de mejor ajuste bajo los diferentes tratamientos. A continuación se detallan los diferentes resultados de los mejores ajustes alcanzados, entre el escurrimiento Vs diferentes variables independientes consideradas:

En el tratamiento testigo en el periodo total de investigación se determinó el escurrimiento Vs lámina de precipitación (mm) como la variable de mejor ajuste, con un coeficiente de correlación muy alto ($r=0,8523$), y un coeficiente de determinación ($r^2=0,7265$) que lleva a asegurar que el 72,7% del escurrimiento dado, durante todo el periodo de investigación, se debe a la lámina de precipitación (Tabla 13 y Figura 8a). Para el tratamiento papa se determinó el escurrimiento Vs lámina de precipitación (mm) como la variable de mejor ajuste, con un coeficiente de correlación muy alto ($r=0,8465$), y con un coeficiente de determinación ($r^2=0,7165$) que señala que el 71,7% del escurrimiento presentado depende de la lámina de precipitación ocurrida (Tabla 13 y Figura 8b).

a) Testigo



b) Papa



c) Pasto

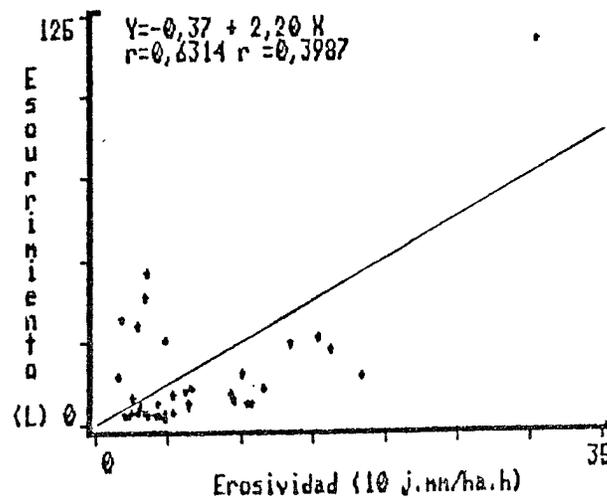


Figura 8. Gráfico de Regresión de Esgurrimiento Vs Variable independiente de mejor ajuste en cada uno de los tres tratamientos considerados: a) Testigo, b) Papa y c) Pasto.

Para el tratamiento con pasto se determinó el escurrimiento Vs erosividad de la precipitación como la variable de mejor ajuste, con un coeficiente de correlación bajo ($r=0,6314$), y con un coeficiente de determinación ($r^2=0,3987$) que indica que el 40% del escurrimiento ocurrido durante todo período de investigación son debidas a la erosividad de la precipitación (Tabla 13 y Figura 8c).

Pérdida de Suelo

En la Tabla 12 se pueden observar los valores de los coeficientes de correlación obtenidos para la relación pérdida de suelo Vs lámina de precipitación para el período total de investigación, destacándose la no significación de dicha relación en el tratamiento con pasto lo cual se debió a las correlaciones no significativas obtenidas en la segunda y tercera etapa del tratamiento pasto, dados por la acción de la cobertura del dosel que interceptaba parte del total de la precipitación evitando que las gotas de lluvia chocaran directamente sobre el suelo, además las hojas y las raíces inhibían el movimiento de las partículas del suelo, sólo produciéndose pequeñas pérdidas de suelo durante la segunda y tercera etapa del tratamiento pasto. En el tratamiento con papa se presenta un valor muy bajo del coeficiente de correlación ($r=0,4417$) entre la pérdida de suelo Vs precipitación para el período total de observación, debiéndose esto al valor no significativo de los coeficientes de

correlación obtenidos en la tercera etapa, lo cual podría ser aducido a la máxima cobertura del dosel (78%) alcanzada durante la tercera etapa. En el testigo se presenta un coeficiente de correlación alto ($r=0,7070$), para la pérdida de suelo Vs precipitación en el total del período de investigación, éste valor presenta un descenso en comparación a los coeficientes de correlación presentados para la primera y segunda etapa, lo cual es debido a el valor del coeficiente de correlación no significativo presentado para la tercera etapa dado por la influencia de la pedregosidad existente durante esta última etapa.

En general de las correlaciones observadas en la Tabla 12 entre la pérdida de suelo Vs lámina de precipitación para todos los tratamientos considerados, se observa que la lámina de precipitación por sí sola sin considerar su intensidad y energía, no explica el poder erosivo de la lluvia.

Analizando la pérdida de suelo Vs intensidad de la precipitación en el total del período de investigación, se puede observar que el tratamiento con pasto presenta un coeficiente de correlación muy bajo ($r=0,3959$); debiéndose a los valores no significativos de los coeficientes de correlación para la segunda y tercera etapa, esto se podría atribuir a la densa cobertura (100%) alcanzada durante estas dos etapas en el tratamiento con pasto. El tratamiento con papa presenta un valor del coeficiente de correlación bajo

($r=0,5670$) para la pérdida de suelo Vs intensidad durante todo el periodo de investigación, el bajo valor de este coeficiente se debe a el valor no significativo del coeficiente de correlación presentado para la tercera etapa, dicho comportamiento se podría atribuir al porcentaje de la cobertura del dosel alcanzada (78%) durante la misma etapa. El testigo presenta un valor para el coeficiente de correlación alto ($r=0,7353$) para la pérdida de suelo Vs intensidad de la precipitación durante el total del periodo de investigación; el leve descenso presentado en su valor se debe al bajo valor determinado para el coeficiente de correlación en la tercera etapa del testigo, lo cual podría deberse a la presencia de bajas intensidades de la lluvia durante esta etapa y además a la presencia de una pedregosidad superficial.

Del anterior análisis de las correlaciones entre la pérdida de suelo Vs intensidad de la precipitación se puede observar, en coincidencia con lo reportado en la literatura, que la intensidad por si sola no explica totalmente la capacidad erosiva de la lluvia, teniendose que considerar otras características de la lluvia v.g. duración de la lluvia, energía total del aguacero, lámina de precipitación, etc.

Con respecto a la pérdida de suelo Vs erosividad de la precipitación hay que destacar que esta correlación pudiera ser más valedera ya que conjuga las características de la precipitación antes mencionadas, pero se hicieron las

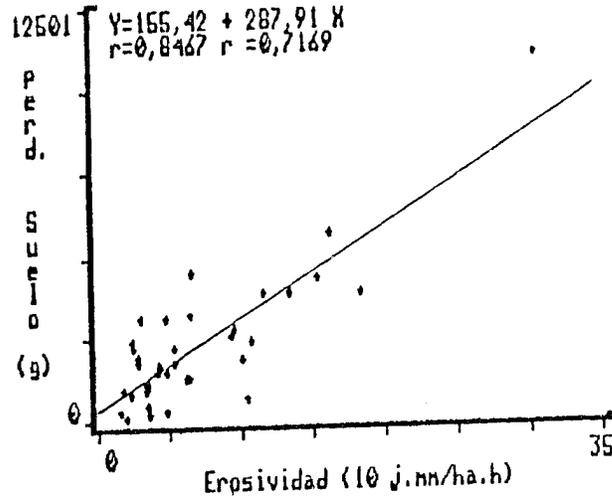
correlaciones con lámina e intensidad individualmente a manera de chequeo y para observar su comportamiento de relación. A continuación se presentan los valores de los coeficientes de correlación obtenidos en el período total de observación para estas variables bajo los diferentes tratamientos considerados: En la Tabla 12, se observa que el tratamiento con pasto presenta un valor del coeficiente de correlación bajo ($r=0,5317$); debiéndose a los valores no significativos de los coeficientes de correlación presentados para la segunda y tercera etapa, lo cual podría atribuirse a la presencia, durante estas dos etapas, de una densa cobertura (100%) que protegían al suelo del golpe directo de las gotas de lluvia y además ofrecían un obstáculo para el arrastre del suelo. En el tratamiento con papa la pérdida de suelo Vs erosividad de la precipitación presenta un valor del coeficiente de correlación alto ($r=0,6871$); debiéndose este valor al descenso presentado por los valores de correlación presentados para la segunda y tercera etapa, lo cual podría atribuirse a la acción de la cobertura establecida durante estas dos etapas. En el testigo la pérdida de suelo Vs erosividad de la precipitación durante el total del período de investigación presenta un valor del coeficiente de correlación muy alto ($r=0,8467$); éste coeficiente presenta un leve descenso en su valor, el cual es debido al valor bajo del coeficiente de correlación reportado para la tercera etapa, lo que podría ser atribuido principalmente a la alta pedregosidad presente en el suelo.

Finalmente la pérdida de suelo Vs escurrimiento en el total del periodo de investigación, en la Tabla 12 se puede observar que el tratamiento con papa presenta el más bajo valor del coeficiente de correlación, seguido del testigo y finalmente el tratamiento con pasto. El tratamiento con papa presenta un valor del coeficiente de correlación bajo ($r=0,5496$), el cual se debe al valor bajo del coeficiente de correlación presentado en la tercera etapa, éste comportamiento durante la tercera etapa se podría atribuir al porcentaje de cobertura alcanzado (78%) que junto con los tallos y raicillas impedían un mayor arrastre de partículas de suelo por el escurrimiento. En el testigo, para la pérdida de suelo Vs escurrimiento durante el total del periodo de investigación, se presenta un valor del coeficiente de correlación muy alto (0,8151), el descenso presentado por éste valor es atribuido al valor bajo del coeficiente de correlación presentado en la tercera etapa, el cual podría ser debido al obstáculo ofrecido por los pedestales conformados por el anterior arrastre de las partículas más finas del suelo. El tratamiento con pasto presenta para la pérdida de suelo Vs escurrimiento durante el total del periodo de investigación, un valor del coeficiente de correlación muy alto ($r=0,9311$); este valor presenta un ascenso con respecto a los demás valores presentados para las diferentes etapas del tratamiento pasto, este comportamiento podría ser atribuido a la acción del aumento progresivo del porcentaje de cobertura.

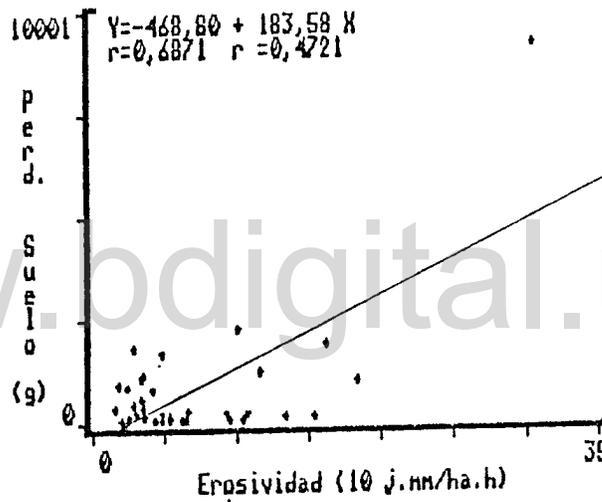
En la Tabla 13 se presentan las regresiones significativas, dentro de las cuales se encuentran las correspondientes a la pérdida de suelo Vs lámina de precipitación, su intensidad, la erosividad de la precipitación y el escurrimiento. En la Figura 9 se presentan los gráficos de la pérdida de suelo Vs la variable independiente de mejor ajuste bajo los diferentes tratamientos. A continuación se detallan los diferentes resultados de los mejores ajustes alcanzados, entre la pérdida de suelo Vs diferentes variables independientes consideradas:

En el tratamiento testigo en el periodo total de investigación se determinó la pérdida de suelo Vs erosividad de la precipitación como la variables de mejor ajuste, con un coeficiente de correlación muy alto ($r=0,8467$) y un coeficiente de determinación ($r^2=0,7169$) que indica que el 71,7% de la pérdida de suelo presentada en este tratamiento son debidos a la erosividad de la precipitación (Tabla 13 y Figura 9a). Para el tratamiento papa se determinó la pérdida de suelo Vs erosividad de precipitación como las variable de mejor ajuste, con un coeficiente de correlación bajo ($r=0,6871$) con un coeficiente de determinación ($r^2=0,0,4721$) que señala que el 47,2% de la pérdida de suelo ocurrida depende de la erosividad de precipitación en el total del periodo de investigación (Tabla 13 y Figura 9b). Para el tratamiento con pasto se determinó la pérdida de suelo Vs escurrimiento como la variable de mejor ajuste, con un

a) Testigo



b) Papa



c) Pasto

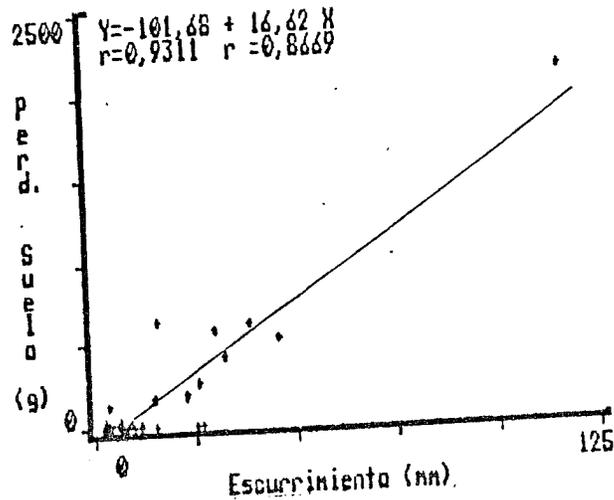


Figura 9. Gráfico de Regresión de Pérdida de Suelo Vs. Variable independiente de mejor ajuste en cada uno de los tres tratamientos considerados: a) Testigo, b) Papa y c) Pasto.

coeficiente de correlación muy alto ($r=0,9311$) con un coeficiente de determinación ($r^2=0,0,8669$) que indica que el 86,7% de la pérdida de suelo ocurrida durante el total del periodo de investigación son debidas a el escurrimiento presentado (Tabla 13 y Figura 8c).

Rendimientos de Papa y Pasto

La Tabla 14 presenta los resultados obtenidos por parcela en la cosecha de papa y en el primer y segundo corte realizado al pasto. Como se observa en la misma tabla, existen variaciones en la producción de papa por parcela, ésto debido al ataque de la candelilla tardía, producido por el hongo Phytophthora infestans, principalmente en las repeticiones 2 y 3, por lo cual sus valores son inferiores a los de la repetición 1. En relación a la producción de pasto por parcela se observan bajos valores en el primer corte y dentro del mismo, específicamente, en las repeticiones 1 y 2; ésto debido al ingreso de un semoviente que consumió parte del material verde producido en dichas parcelas. En el segundo corte los valores de producción, para las repeticiones, fueron similares.

De igual manera en la Tabla 14, se presentan los valores promedios de producción por parcela, siendo 36,33, 18,57 y 40,00 kg/ha para la papa y el primer y segundo corte en el pasto, respectivamente. Tal como se señaló en el capítulo anterior, el primer corte de pasto se realizó al finalizar la

Tabla 14. Producción de Papa y Pasto (Material Verde) en kg/parcela por Repeticiones.

Tratamiento	Repeticion	Producción por parcela (Kg)			
		Total		Promedio	
Papa	1	40,0			
	2	34,0			
	3	35,0			36,33
		a)	b)	a)	b)
Pasto	1	16,0	39,0		
	2	17,7	41,0		
	3	22,0	40,0	18,6	40,0

a) Corte realizado al finalizar la segunda etapa, promedio

b) Corte realizado al finalizar la tercera etapa, promedio

la segunda etapa, mientras el segundo corte se hizo al finalizar la tercera etapa.

En la Tabla 15, se presenta el rendimiento neto, en t/ha, de papa y pasto; se observa que la papa presenta un rendimiento de 38,28 y el pasto de 24,40 t/ha (promedio de dos cortes).

Tabla 15. Rendimiento de Papa y Pasto (Material Verde) en t/ha.

Tratamiento	Rendimiento (t/ha)
Papa	30,28
Pasto ^a	24,40

^a: Rendimiento promedio de dos cortes.

Estimación de la Pérdida de Suelo a Través de la EUPS, Determinación de los Factores

Factor R

Durante el período de investigación se registraron 37 eventos de precipitación importantes, (Tabla B2 del Apéndice), distribuidos así: 8, 10 y 19 observaciones durante la primera, segunda y tercera etapa, respectivamente. Durante la primera etapa se presentó una lluvia de 51,4 mm en 4 horas, con una intensidad de 26,0 mm/h, máximo evento ocurrido en todo el período de observación, que ocasionó rebosamientos en los tanques recolectores al pie de las parcelas testigo. Esto solo se esperaba que sucediese si ocurría un evento poco frecuente de esta magnitud. Lo cual sucedió en una oportunidad generando volúmenes de escurrimiento por parcela que superaron la capacidad de los tanques calculada a través de la ecuación (2) (Djorovic, 1977).

El registro de datos muestra que en la tercera etapa se produjeron las más altas precipitaciones, siendo la primera y segunda etapa menos lluviosas. En el mes de noviembre la precipitación fue más abundante que en agosto y octubre, lo cual es también aplicable a la erosividad de la precipitación, lo cual se traduce, para la tercera etapa, en mayores pérdidas de suelo y escurrimiento en las parcelas desprovistas de cobertura vegetal.

Se determinó el índice de erosividad (EI_{30}) para cada una

de las etapas y para el periodo total de investigación (Tabla B2 del Apéndice), cuyo valor fue de $255,78 \times 10^7$ j.mm/ha.h. No se hizo determinación para todo el año debido a la falta de registros organizados. No fue posible procesar mucha de la información existente a causa de defectos en el registro, originados principalmente, por mal funcionamiento del pluviógrafo.

La distribución acumulada del índice de erosividad (EI_{30}) de la precipitación durante el periodo de investigación, expresado en porcentaje se muestra en la Figura 10, observándose una concentración del 56% de este índice en la tercera etapa (14 de noviembre al 24 de noviembre) y de 23 y 21% en la primera (29 de agosto al 14 de septiembre) y segunda etapa respectivamente.

Factor K

La Tabla 16, presenta la determinación del factor erosionabilidad del suelo, expresado en t.ha.h / ha. 10^7 j.mm, a través de mediciones en el campo (ecuación 5) y estimada mediante la ecuación desarrollada por Wischmeier (1978) (ecuación 6), obteniéndose valores de 0,52 y 0,45 respectivamente. Goujon et al. (1977) proponen una clasificación del factor K, adaptada para Túnez, donde valores mayores a 0,26 y menores o iguales a 0,53, se corresponden con suelos fuertemente erosionables, rango en el cual se puede

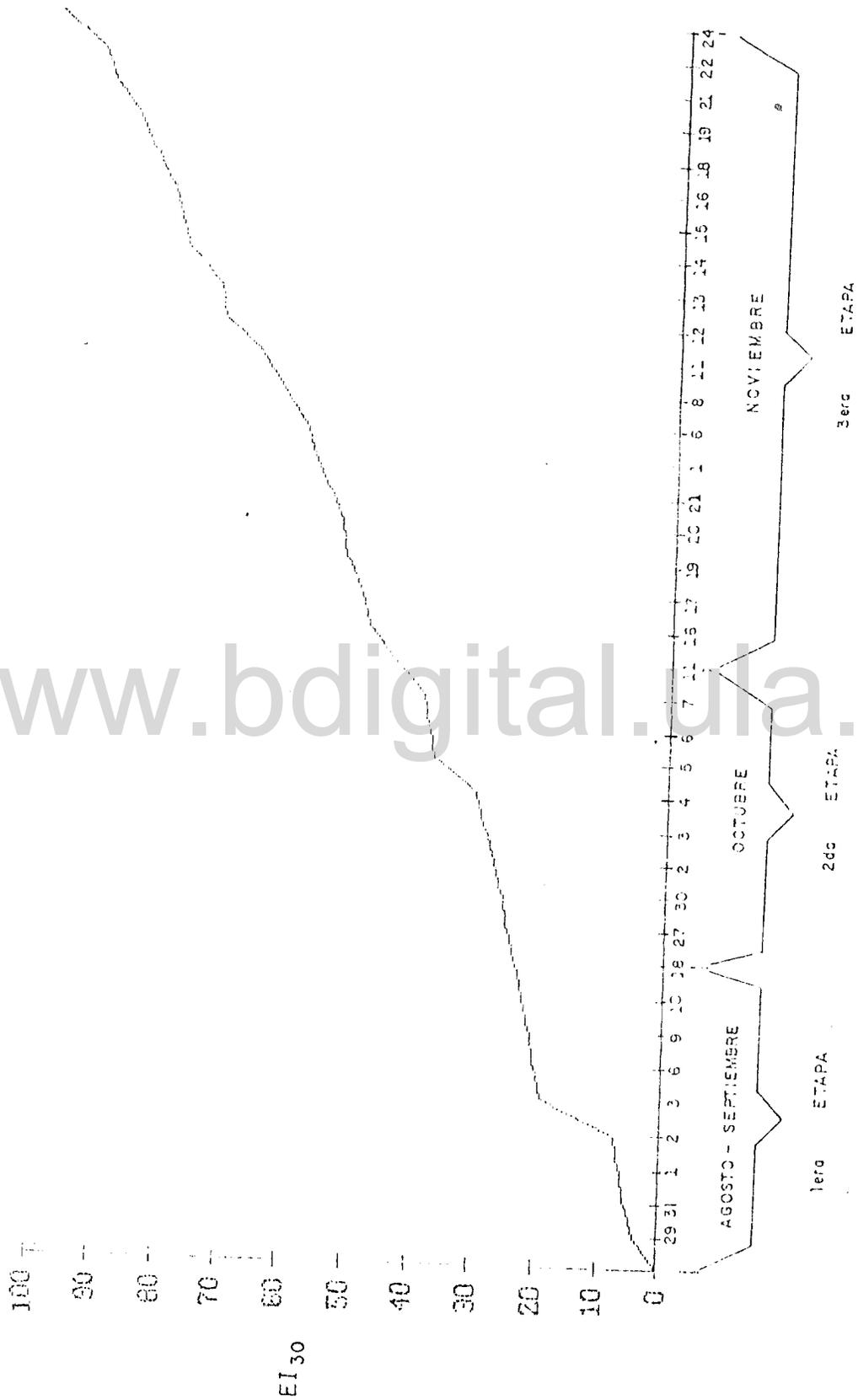


Figura 10. Distribución Acumulada del Índice de Erosividad de la Precipitación durante el Período de Investigación (Agosto - Noviembre 1988).

Tabla 16. Determinación del Factor K, Erosionabilidad de la EUPS.

a) Determinación a partir de mediciones experimentales (ecuación 5):

$$K = \frac{A}{R \cdot LS}$$

donde: A= 69,94 t/ha
R= 255,78 10⁷ j.mm/ha.h
LS= 0,52

$$K = 0,53 \frac{t \cdot ha \cdot h}{ha \cdot 10^7 j \cdot mm}$$

b) Determinación a partir de la Ecuación desarrollada por Wischmeier y Smith (1978) (ecuación 6).

$$K = \frac{2,1 M^{1,14} (10^{-4}) (12-a) + 3,25(b-2) + 2,5(c-3) * 1,317}{100}$$

donde:

$$M = 2554,48$$

$$a = 10,11$$

$$b = 3$$

$$c = 3$$

$$K = 0,45 \frac{t \cdot ha \cdot h}{ha \cdot 10^7 j \cdot mm}$$

ubicar el suelo estudiado. Las pruebas de estabilidad de los agregados al agua (Tabla A5 del Apéndice) realizados a este suelo permiten diagnosticar un estado de degradación asociado a las características físicas y uso agrícola intensivo al que han estado sometidos estos suelos (Moreau, 1978; citado por Alegre, 1986), lo cual los hace más susceptibles a la erosión.

Factor LS.

La Tabla 17, muestra la determinación del factor "longitud e inclinación de la topografía" para el cual se obtuvo un valor de 0,52.

Tabla 17. Determinación del Factor Topográfico "LS" de la EUPS.

Utilizando la ecuación 7.

$$LS = \left(\frac{\text{Long. Pendiente en el Campo}}{22,1} \right)^m * 0,065 + 0,045s + 0,0065s^2$$

donde:

Long. Pendiente = 6 m

m = 0,5

s = 9 %

LS = 0,52

Factor C.

La Tabla 18 presenta los valores obtenidos para la pérdida de suelo ocurrida bajo las condiciones específicas de cada tratamiento durante cada una de las etapas consideradas en la investigación, y los valores de "C" determinados a través de la relación de la pérdida de suelo ocurrida en el tratamiento testigo y los tratamientos con papa y con pasto. Tales datos acusan los menores valores para el tratamiento con pasto en

Tabla 18. Valores del Factor C para Cada una de las Etapas Evaluadas y el Período Total de Investigación. Determinados a Través de la Relación de la Pérdida de Suelo Ocurrida en el Tratamiento Testigo y los Tratamientos Papa y Pasto.

Tratamiento	Etapas	Pérdida de Suelo (t/ha)	Relación Pérdida de Suelo "C"
Testigo	1 ^{ra}	16,12	1,0
	2 ^{da}	14,51	1,0
	3 ^{ra}	39,26	1,0
Papa	1 ^{ra}	15,49	0,96
	2 ^{da}	6,45	0,44
	3 ^{ra}	2,73	0,069
Pasto	1 ^{ra}	4,35	0,27
	2 ^{da}	0,35	0,024
	3 ^{ra}	0,12	0,003

Tabla 19. Determinación del Factor C para el Cultivo de Papa y el Pasto.

Tratamiento	Etapa	Factor "C"	Fecha		Factor "EI30" ^{2/}		"C" Ponderado	
			Inicio Etapa	Fin Etapa	Inicio Etapa	Fin Etapa	Por Etapa	Por Etapa Cultivo
Papa	1 ^{ra}	0,96	24/08/88	14/09/88	0,00	0,23	0,23	0,22
	2 ^{da}	0,44	14/09/88	14/10/88	0,23	0,44	0,21	0,09
	3 ^{ra}	0,069	14/10/88	24/11/88	0,44	1,00	0,56	0,04
Pasto	1 ^{ra}	0,27	24/08/88	14/09/88	0,00	0,23	0,23	0,062
	2 ^{da}	0,024	14/09/88	14/10/88	0,23	0,44	0,21	0,005
	3 ^{ra}	0,003	14/10/88	24/11/88	0,44	1,00	0,56	0,002

1/ Tomado de la Tabla 18.

2/ Calculado a partir de la Figura 10.

las diferentes etapas y para el total del periodo de observación, lo cual significa una mayor protección contra las pérdidas de suelo generadas por la erosión. La Tabla 19, muestra los valores ponderados del factor C para el ciclo del cultivo papa y para el periodo de observación en el pasto kikuyo, en base a la distribución de la erosividad de la precipitación durante el periodo de investigación. Se observa a partir de tales valores que el factor C disminuye con el aumento de la cobertura vegetal, lo cual es aplicable a cada una de las etapas de los respectivos tratamientos. La efectividad de la protección brindada al suelo por el cultivo dependerá en gran medida, de la coincidencia entre una mayor cobertura del cultivo con las más altas concentraciones de la erosividad de la precipitación. Tal situación se ilustra en la Tabla 19.

Con respecto al pasto hay que considerar que su periodo de observación durante la investigación estuvo dado por el ciclo del cultivo de la papa y además este periodo coincide con la época durante la cual este cultivo perenne brinda menor protección al suelo contra la erosión hídrica dada su reciente implantación (Dávila, 1988, comunicación personal). Debido a esto se podría pensar que si se considera un periodo de observación mayor al tomado en esta investigación, el valor del factor C para el pasto disminuiría.

Pérdidas de Suelo Estimadas Mediante el Uso de la EUPS y su Comparación con los Valores Medidos en el Campo.

La Tabla 20 presenta los valores de las pérdidas de suelo estimado a través de la EUPS (ecuación 2) y aquellos obtenidos directamente en el campo, expresados en t/ha, para cada una de las etapas consideradas y el total del periodo de investigación. Al analizar dicha tabla, se observa en general una sobreestimación, en mínimas magnitudes, de los valores obtenidos a través de la EUPS para todos los tratamientos excepto en la primera etapa, donde se subestiman las pérdidas de suelo, además en el total del periodo de observación del tratamiento papa y la tercera etapa del pasto, los valores estimados y medidos coinciden asombrosamente. La sobreestimación alcanza su máxima magnitud, de 0,90%, en el

Tabla 20. Comparación de los Valores de Pérdida de Suelo Estimados a Través de la EUPS y Aquellos Medidos en el Campo.

Etapa	Pérdida de Suelo (t/ha)					
	Testigo		Tratamiento papa		Pasto	
	Estimado	Medido	Estimado	Medido	Estimado	Medido
1ra	15,99	16,12	15,35	15,49	4,32	4,35
2da	14,86	14,51	6,54	6,45	0,36	0,35
3ra	39,64	39,26	2,74	2,73	0,12	0,12
Total	70,49	69,89	24,67	24,67	4,86	4,82

tratamiento papa y su mínima magnitud, 0,69, en el pasto; la sobreestimación alcanza su máxima magnitud, de 2,86%, en la segunda etapa para el tratamiento con pasto, en tanto que su mínima magnitud, 0,37%, es observada en la tercera etapa para el tratamiento con papa.

www.bdigital.ula.ve

Discusión de Resultados

A continuación se presentan una serie de comentarios adicionales acerca de los resultados de mayor relevancia obtenidos en el presente trabajo:

La efectividad de la protección al suelo proporcionada por los cultivos evaluados experimenta importantes variaciones a través del ciclo de los mismos. Siendo mayor su protección durante la segunda y tercera etapa para el pasto y en la tercera para el cultivo papa. Observándose que la vegetación proveniente de un cultivo permanente y de rápido desarrollo, como el pasto, ofrece una más efectiva protección al suelo, contra la erosión hídrica, que un cultivo de ciclo corto como la papa.

La pérdida de suelo, escurrimiento y pérdida de nutrimentos fueron mayores en el tratamiento testigo que en los tratamientos con papa y con pasto, siendo mucho mayor la diferencia con respecto a éste último. La respuesta de cada una de estas variables, a los tratamientos considerados dependieron básicamente del tipo y grado de cobertura proporcionado por los cultivos bajo el tipo de manejo característico de la zona, el cual fue implementado como un factor fijo en este experimento. Es importante señalar que fueron pocos los eventos de precipitación de alta erosividad; además de concentrarse éstos, mayormente en las etapas en donde se presentaron los mayores porcentajes de cobertura de

los cultivos.

El análisis estadístico refleja la existencia de diferencias en el comportamiento de los diferentes tratamientos en relación a la pérdida de suelo y escurrimiento a lo largo del período de investigación. Esto a excepción de las pérdidas de suelo ocurridas en la primera etapa bajo los tratamientos con papa y el testigo donde dichas pérdidas fueron altas y debidas a la pobre e incipiente cobertura que caracterizó dicha etapa; la presencia de surcos a favor de la pendiente favoreció la erosión del suelo. Con respecto a los nutrimentos, los análisis estadísticos, en general, determinaron la existencia de diferencias entre tratamientos, excepto entre las pérdidas de nitrógeno total en la tercera etapa y para el período total de observación, bajo las coberturas del pasto kikuyo y el cultivo de papa, como también entre las pérdidas de fósforo soluble en la primera y tercera etapa bajo los tratamientos con papa - testigo y tratamientos con pasto y con papa respectivamente. Este comportamiento está muy relacionado con las cantidades de pérdida de suelo ocurridas bajo cada uno de los tratamientos considerados.

Con respecto a la pérdida de suelo, bajo los diferentes tratamientos considerados, en relación a la lámina de precipitación y su intensidad, la erosividad y el escurrimiento, se detectó, principalmente, un muy alto grado de asociación con la erosividad de la precipitación y el

escurrimiento durante el período total de investigación excepto en la tercera etapa de los tratamientos papa y testigo, y en la segunda y tercera etapa del tratamiento con pasto, donde ninguna de las correlaciones anteriores entre variables fueron significativas para explicar el fenómeno en más de un 50%. En el caso de los tratamientos con papa y pasto resalta la influencia de la cobertura vegetal durante las etapas en las cuales se alcanzan mayores magnitudes en porcentaje de cobertura, reflejándose tal condición, en la disminución de los valores de pérdida de suelo. Para el tratamiento testigo la fuerte de erosionabilidad, unida a la inestabilidad de la estructura detectados en estos suelos fue agravada por la falta de cobertura protectora lo cual se tradujo en altas tasas de pérdida de suelo. Durante la tercera etapa de evaluación, para cuando cierto espesor del suelo superficial se había perdido por efecto de la salpicadura y el arrastre, se hizo aún más evidente una pedregosidad que aunada al alto contenido de materia orgánica y algunas características físicas favorables, como la textura y la tasa de infiltración, contribuyeron a que los niveles de erosión no fuesen mayores a los reportados.

El escurrimiento, bajo los tratamientos considerados, presentó un grado muy alto de asociación especialmente con las variables precipitación (mm) y erosividad (EI_{30}) durante todas las etapas evaluadas, excepto el tratamiento con pasto para el

cual en la tercera etapa y en el período total de investigación, aún cuando se obtuvieron coeficientes de correlación significativos éstos no explicaban el fenómeno en más de un 50%. Dicho comportamiento pudo ser explicado por la acción de la existencia de una cobertura vegetal alcanzada por el cultivo, favoreciendo la infiltración del agua en el suelo y consecuentemente disminuyendo los volúmenes de agua disponibles para el escurrimiento.

En lo referente a los rendimientos de papa y pasto, los valores obtenidos fueron superiores a los reportados en la región, los cuales son de 20 t/ha (Brito et al., 1974; citado por Romero, 1980) para la papa y de 16 - 20 t/ha de materia verde por corte (intervalo entre corte 30 a 40 días) para el pasto (Dávila, 1988, comunicación personal).

De la comparación de las pérdidas de suelo estimadas en base a la EUPS y las obtenidas directamente en el campo, bajo los tratamientos testigo, papa y pasto y para las etapas consideradas y el período total de investigación, se observaron diferencias de sorprendente baja magnitud. En ello parece tener preponderante influencia la ocurrencia en esta investigación de condiciones climáticas, edáficas y de prácticas de manejo agronómicas dentro de los rangos considerados para la determinación de los diferentes factores de la EUPS.

CAPITULO V

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

Las conclusiones y recomendaciones resultantes de esta investigación, son las siguientes:

El suelo objeto de estudio presenta una fuerte condición de erosionabilidad que, unida a la inestabilidad estructural existente, lo hace que sea muy susceptible a la erosión hídrica, acentuándose esta condición en tierras desprovistas de cobertura vegetal, como fue el caso del tratamiento testigo.

La cobertura vegetal es determinante en la reducción de la pérdida de suelo, haciéndose más eficiente a medida que avanza el crecimiento de los cultivos, facilitando una mayor infiltración del agua en el suelo. En el caso del pasto, sus tallos y estolones o tallos rastreros presentan un obstáculo a la pérdida de suelo mientras que las raíces proporcionan un amarre al suelo evitando el arrastre por erosión.

La vegetación permanente, de rápido crecimiento y mayor cobertura como la brindada por el pasto kikuyo ofrece, en sus diferentes etapas de crecimiento, una más efectiva protección al suelo que el cultivo de papa, ante los procesos de degradación por erosión hídrica. Estas variaciones se reflejan en los valores determinados del factor C de la Ecuación Universal de Pérdida de Suelo para cada uno de los cultivos,

en sus diferentes etapas y en el total del periodo de investigación.

El índice de cobertura y manejo "C" para el pasto kikuyo pareciera que presentara la tendencia a disminuir en presencia de eventos futuros. Este comportamiento, de este cultivo perenne, podría deberse al incremento de la cobertura de su dosel, esperándose que la protección al suelo brindada por su cobertura aumente al considerarse un periodo de observación superior al tenido en cuenta en esta investigación; por lo que se recomienda en investigaciones futuras, en donde se considere este tratamiento, ampliar el periodo de investigación.

La Ecuación Universal de Pérdida de Suelo (Wischmeier y Smith, 1978) como base para la estimación de pérdidas de suelo bajo las condiciones de estudio resulta en valores muy aproximados a los obtenidos experimentalmente por lo que se destaca su gran utilidad como una metodología para la predicción de los riesgos de la erosión hídrica bajo condiciones determinadas. En tal sentido se recomienda incrementar los estudios de esta naturaleza, con el fin de contar con suficiente información acorde a nuestros requerimientos y necesidades.

Basado en la observación diaria, se pudo determinar que cantidades de precipitaciones inferiores a 10 mm no causan una

LITERATURA CITADA

- Alegre, J. C. y D. K. Cassel. 1986. Effect of Land - Clearing Methods and Post Clearing Management on Aggregate Stability and Organic Carbon Content of a Soil in The Humid Tropics. *Soil Sci.* 5:289-295.
- Allison, L. E., W. B. Bollen y C. D. Moodie. 1965. Chap. 89. Total Carbon. En C. A. Black (Eds.), *Methods of Soil Analysis: Part 2. Chemical and Microbiological Properties.* Agron. Monograph N°9. Amer. Soc. Agron., Madison, Wisconsin. p. 1343-1366.
- Añez, B. y E. Tavira. 1985. La Erosión de los Suelos: Factores Físicos, Consecuencias. Boletín Divulgativo N° 2. Julio Septiembre. Instituto de Investigaciones Agropecuarias Universidad de los Andes (IIAP-ULA), Mérida, Venezuela.
- Armstrong, C. L., J. K. Mitchell y P. N. Walker. 1980. Soil Loss Estimation Research in Africa - A Review. En De Boodth, M. y D. Gabriels (Eds.), *Assessment of Erosion.* John Wiley and Sons, New York, USA. p. 285-294.
- Ayres, C. O. 1960. Erosión de los Suelos y su Control. Ed. Omega. Barcelona, España. 471 p.
- Arnoldus, H. M. J. 1977. Predicting Soil Losses Due to Sheet and Rill Erosion: En *FAO Guidelines for: Watershed Management. Conservation Guide 1.* Rome, Italy. p. 99-124.
- Beasley, D. B., L. F. Huggins, y E. J. Monke. 1980. ANSWERS: A Model for Watershed Planning. *Trans. Amer. Soc. Agric. Eng.* 23(4):938-944.
- Bremner, J. M. 1965. Total Nitrogen. En C. A. Black (Ed.), *Methods of Soil Analysis: Part 2. Chemical and Microbiological Properties.* Agron. Monograph N° 9. Amer. Soc. Agron., Madison, Wisconsin, USA. p. 1149-1170.
- Bruce-Okine, E y R. Lal. 1975. Soil Erodibility as Determined by Raindrop Technique. *Soil Sci.* 2:149-157.
- Canuti, P., S. Moretti y C. Zanchi. 1987. A Rain Simulator for Quick Field Tests of Infiltration and Soil Loss Evaluation. En I. Fla (Ed.), *Soil Conservation and Productivity. Proceeding of IV International Conference on Soil Conservation.* Maracay-Venezuela, Nov. 3-9, 1985. UCV. Caracas, Venezuela. p. 339-343.

- Carter, L. J. 1977. Soil Erosión: The Problem Persists Despite Billion Spent on it. *Sci.* 196: 409-411.
- Casanova, E., M. L. Pérez y D. S. Rodríguez. 1987. Plan Nutrient Losses in Eroded Sediment Under Different Soil Management in Two Areas of Venezuela. En I. Fla (Ed.) Soil Conservation and Productivity. Proceedings IV International Conference of Soil Conservation. Maracay-Venezuela, Nov. 3-9, 1985. UCV. Caracas, Venezuela. p. 496-505.
- Comerma, J. y L. Arias. 1971. Un Sistema para Evaluar las Capacidades de Uso Agropecuario de los Terrenos en Venezuela. Seminario de Clasificación Interpretativa con Fines Agropecuarios. Maracay, Venezuela.
- Cortés, A. y D. Malagón. 1983. Los Levantamientos de Suelos y sus Aplicaciones Multidisciplinarias. Series Suelos y Clima N^o SC-58 Centro Interamericano de Desarrollo Integral de Aguas y Tierras (CIDIAT), Mérida, Venezuela.
- CPC. 1977. Manual de Conservación de Suelos y del Agua. Colegio de Postgraduado de Chapingo (CPC). SARH. México.
- Dávila, C. 1985. La Asociación Kikuyo - Alfalfa. Boletín Divulgativo N^o 2. Abril-Junio. Instituto de Investigaciones Agropecuarias - Universidad de los Andes (IIAP-ULA). Mérida, Venezuela.
- Dávila, S. V. y G.H. Chaverra. 1987. Kikuyo. En Establecimiento y Manejo de Pastos y Forrajes. TAO. N^o 134. Bogotá, Colombia. p. 146-153.
- Del Castillo, D. 1974. El kikuyo. Boletín Informativo N^o 1. Instituto de Investigaciones Agropecuarias - Universidad de los Andes (IIAP-ULA). Mérida, Venezuela.
- Delgado, F. 1987. Prácticas de Conservación del Suelo. Serie: Suelos y Clima. SC-63. Centro Interamericano de Desarrollo Integral de Aguas y Tierras (CIDIAT), Mérida, Venezuela.
- Dissmeyer, G. y G. Foster 1981. Estimating the Cover-Management Factor (C) in the Universal Soil Loss Equation for Forest Conditions. *J. Soil Water.* 34:235-240.
- Djorovic, M. 1977. Use of Runoff Plots to Evaluate Soil Loss. En FAO. Guidelines For: Watershed Management. Conservation Guide 1. Rome, Italy. p. 143-146.
- Djorovic, M. 1980. Slope Effect on Run-off and Erosion. En De M. De-Boodth y D. Gabriels (Eds.), Assessment of Erosion. John Wiley and Sons. New York, USA. p. 215-225

- Dunne, T. 1977. Evaluation of erosion Conditions and Trends. En FAO Guidelines for: Watershed Management. Conservation Guide 1. Rome, Italy. p. 53-83.
- Elwell, H. A. y E. W. Dangler. 1982. Rainfall Erosion in the Tropics: A State-of-the Art. En W. Kussow, S. A. El-Swaify y J. Mannering (Eds.), Soil Erosion and Conservation in the Tropics, Ame. Soc. Agron. Wisconsin, USA. p. 1-25.
- Elwell, H. A. y M. A. Stocking. 1976. Vegetal Cover to Estimate Soil Erosion Hazard in Rhodesia. Geoderma. 15: 61-70.
- Elwell, J., A. Madriz y J. A. Tosi. 1968. Zonas de Vida de Venezuela. Ministerio de Agricultura y Cría. Caracas, Venezuela. 265 p.
- Faillace, G. 1970. CORPOANDES y la Agricultura en la Región de los Andes (T.1). Corporación de los Andes (CORPOANDES). Mérida, Venezuela.
- Faillace, G., T. A. Nieto, C. Pérez y D. Romero. 1973. Diagnóstico de la Papa en la Región de los Andes. Corporación de los Andes (CORPOANDES). Mérida, Venezuela.
- FAO. 1967. La Erosión del Suelo por el Agua. Cuaderno de Fomento Agropecuario N° 81. 207 p.
- FAO. 1978. Forestry for Local Community Development. FAO Forestry Paper 7. Rome, Italy.
- Foster, G. R., L. J. Lane y J. D. Nowlin. 1980. A Model to Estimate Sediment Yield from Field-Sized Areas: Selection of Parameter Values. En USDA Conservation Research Report N° 26. 193-281.
- Foster, G. R., W. C. Moldenhauer y W. H. Wischmeier. 1982. Transferability of U. S. Technology for Prediction and Control the Erosion in the Tropics. En W. Kussow, S. A. El-Swaify y J. Mannering (Eds.). Soil Erosion and Conservation in the Tropics, Amer. Soc. Agron. Wisconsin, USA. p. 135-149.
- Fournier, F. 1960. Climat et Erosion. Press Universitaires de France. Paris, Francia. 201 p.
- Gásperi, R. R. 1978. El Fenómeno de Sofusión en Areas Erodadas de la Depresión de Quibor. V Congreso Venezolano de la Ciencia del Suelo. 5-10 de Nov. 1978, Barquisimeto, Venezuela. 24 p.

- Gáspari, P. R. 1982. Principios Básicos de Erosión y Conservación de Suelos. Boletín Informativo, Suplemento Técnico N° 28. Fundación para el Desarrollo de la Región Centro Occidental de Venezuela (FUDECO), Barquisimeto, Venezuela. 203 p.
- Gómez, A. y H. Alarcón. 1975. Erosión. En Manual de Conservación de Suelos de Ladera. Federación Nacional de Cafeteros de Colombia. Centro Nacional de Investigaciones del Café (CENICAFE), Chinchiná, Caldas, Colombia. 267 p.
- Goujon, M. M., B. De Vergnette, B. De Coignac, M. M. Roche y V. Delton. 1977. Conservación de Suelos en Regiones Tropicales. Centro Técnico Forestal Tropical de Francia. Instituto Agronómico de Madagascar. Traducido del Francés por J. A. Castillo. Centro Interamericano de Desarrollo Integral de Aguas y Tierras (CIDIAT). Mérida, Venezuela. 149 p.
- Guzmán, J. E. 1988. La Papa: Prácticas Agronómicas. Series Agrícolas N° 10. Caracas, Venezuela. 131 p.
- Hanotiaux, G. 1980. Runoff Erosion and Nutrient Losses on loess Soil in Belgium. En M. De-Boodth y D. Gabriels (Eds.). Assessment of Erosion. John Wiley and Sons. New York, USA. p. 369-378.
- Hashim, G. M. 1987. Soil and Water Losses From Steep Land in the East Coast of peninsular Malaysia Preliminary Findings. En I. Fla (Ed.). Soil Conservation and Productivity. Proceedings IV International Conference on Soil Conservation. Maracay-Venezuela, Nov. 3-9, 1985. UCV. Caracas, Venezuela. 359-366.
- Hudson, N. W. 1977. The Factors Determining the Extent of Soil Erosion. En D. J. Greenland y R. Lal (Eds.). Soil Conservation and Management in the Tropics. Proceeding of the National Conference on Soil Conservation. Nigeria, June, 1975. John Wiley and Sons. New York, USA. p. 11-16.
- Hudson, N. W. 1980. Erosion Prediction With Insufficient Data. En M. De-Boodt y D. Gabriels (Eds.). Assesment of Erosion. John Wiley and Sons. New York, USA. p. 279-284.
- Hussein, M. H. 1987. Water Erosion Prediction in Areas with Limited Data. En I. Fla (Ed.). Soil Conservation and Productivity. Proceeding IV International Conference on Soil Conservation. Maracay-Venezuela, Nov. 3-9, 1985. UCV. Caracas, Venezuela. p. 305-315.

- Jackson, H. L. 1964. *Análisis Químico de Suelos*. Ed. Omega. Madrid, España. 662 p.
- Kalms, J. M. 1977. Studies y Cultivation Techniques at Bouake, Ivory Coast. En D. J. Greenland y R. Lal (Eds.). *Soil Conservation and Management in The Humid Tropics. Proceeding of the National Conference on Soil Conservation. Nigeria, June, 1975.* John Wiley and Sons. New York, USA. p. 195-200.
- Kantg, B.T. y R. Lal. 1981. Nutrient Loss in Water Runoff from Agricultural Catchments. En R. Lal y E. W. Russell (Eds.). *Tropical Agricultural hydrology.* John Wiley and Sons. New York, USA. p. 153-161.
- Kirkby, M. J. 1984. Modelos de Procesos de Erosión Hidrica. En M. J. Kirkby y R. P. C. Morgan (Eds.). *Erosión de Suelos.* México. p. 227-266.
- Klingebiel, A. A. y P. H. Montgomery. 1961. Land Capability Clasification. *Agricultural Handbook 210.* USDA. Soil Conservation Service, Washington, D. C., USA.
- Koopen, W. K. y R. Geiger. 1954. *Klimadert Erdc.* Justus Perthes Darnstad, Germany.
- Kostiakov, A. N. 1932. On the Dynamic of the Coefficient of Water Percolation in Soils and the Necessity for Studying it from a Dynamic View for purposes of Amelioration. *Trans 6th. Com. Inst. Soc. Sci., Russian Part A:* 17-21.
- Kowal, J. 1972. The Hydrology of the Small Catchment Basin of Samaru, Nigeria. IV. Assesment of Soil Erosion Under Varied Land Management and Vegetation Cover. *Niger. Agr. J.* 7:134-147.
- Lal, R. 1976. Soil Erosion on Alfisols in Western Nigeria. IV. Nutrient Element Losses in Runoff and Eroded Sediment. *Geoderma.* 16: 403-417.
- Lal, R. 1977. Soil Management Systems and Erosion Control. En D. J. Greenland y R. Lal (Eds.). *Soil Conservation and Management in the tropics. Proceeding of the National conference on Soil Conservation. Nigeria, June, 1975.* John Wiley and Sons. New York, USA. p. 93-97.
- Li, R. M., R. K. Simons, y L. Y Shiao. 1977. Mathematical modeling of On-site Soil Erosion. *Proceeding of International Symposium on Urban Hydrology.* Lexington, USA.
- Lindsay, J. I. y F. A. Gumbs. 1982 *Erodibility Indices*

- Compared to Measured Values of selected Trinidad Soils. Soil. Sci. Soc. Amer. J. 46: 393-396.
- Lizaso, J. 1980. Erosión Láminar Bajo Diferentes Coberturas y Pendientes en un Palehumult de las Cuencas Altas del Programa Guanare-Masparro. Tesis de M.S. CIDIAT-ULA. Mérida, Venezuela. 149 p.
- López, R. A. 1988. Conservación de Suelos Agrícolas. Centro Interamericano de Desarrollo Integral de Aguas y Tierras-Organización de los Estados Americanos (CIDIAT-OEA). Mérida, Venezuela. 448 p.
- MAC, 1985. Anuario Estadístico Agropecuario 1982-1993. República de Venezuela, Ministerio de Agricultura y Cría. Caracas.
- Massey, H. F., M. L. Jackson y D. E. Hays. 1958. Fertility Erosion on Two Wisconsin Soils. Agron. J. 45: 543-547.
- Mazurak, A. P. 1950. Effect of Gaseous Phase on Water-stable Synthetic Agregates. Soil Sci. 69: 135-148.
- Meyer, D.L. 1984. Evolution of The Universal Soil Loss Equation. J. Soil Water. 39: 99-104.
- Mitchell, J. K. y G. D. Bubenzer. 1984. Estimación de la Pérdida de Suelo. En M. J. Kirkby y R. PC. Morgan (Eds.). Erosión de suelos. México. p. 35-88.
- Moldenhauer, W. C. y G. R. Foster. 1981. Empirical Studies of Soil onervation Techniques and Disign Procedure. En R. P. C. Morgan (Ed.). Soil Conservation: Problems and Propects. John Wiley. New York, USA. p. 13-29.
- Moldenhauer, W. C. 1987. Program and Goals of the National Soil Erosion Laboratory West Lafayette, Indiana, USA. En I. Fla (Ed.). Soil Conservation and Productivity. Proceedings IV International Conference on soil Conservation. Maracay- Venezuela. Nov. 3-9, 1985. UCV. Caracas, Venezuela. p. 151-179.
- Musgrave, G. M. 1954. Estimation Land Erosion- Sheet-Erosion. Int. Assoc. Scient. Hidrol. Pub. 1:207-205.
- Northwest Analytical. 1982. The NWA. STATPACK. Portland, USA.
- Ráez, M. L. 1980. Contribución al Estudio de la Precipitación Como Factor de Erosión en condiciones Tropicales. Chaguaramas (Edo. Guárico). Tesis de M.S. Universidad Central de Venezuela - Facultad de Agronomía. Maracay, Venezuela. 79 p.

- Páez, M. L., N. Fernández, O. S. Rodríguez y J. Lizaso. 1985. Manual de Conservación de Suelos y Aguas. Universidad Central de Venezuela, Facultad de Agronomía. Material Mimeografiado. Maracay, Venezuela. 376 p.
- Paéz, M. L. y O. S. Rodríguez. 1987 Quantitative Evaluation of Water Erosion Under Different Use and Conservation Practices and Productivity in Venezuela. En I. Fla (Ed.). Soil Conservation and Productivity. Proceeding IV International Conference on Soil Conservation, Maracay-venezuela, Nov. 3-9, 1985. UCV. Caracas, Venezuela. p 367-377.
- Pereira, G. L. 1988. El Cultivo del Ajo y la Papa. Boletín Divulgativo. Instituto de Investigaciones Agropecuarias-Universidad de los Andes (IIAP-ULA). Mérida, Venezuela.
- Fla, I. 1977. Metodología para la Caracterización Física con Fines de Diagnóstico de problemas de Manejo y Conservación en Condiciones Tropicales. UCV, Facultad de Agronomía. Instituto de Edafología. Maracay, Venezuela. 112 p.
- Fla, I. 1981. El Recurso suelo. Ponencia Presentada en el II Congreso Venezolano de Conservación. Mérida, Venezuela. 24 p.
- Fla, I. 1987. Soil and Water Conservation Problems in Agricultural Areas of Venezuela. En I. Fla (Ed.). Soil Conservation and productivity. Proceeding IV International Conference on Soil conservation. Maracay, Venezuela, Nov. 3-9, 1985. UCV. Caracas, Venezuela. 180-196.
- Ploy, J. y D. Gabriels. 1984. Medición de la Pérdida de Suelo y Estudios Experimentales. En M. J. Kirkby y R. C. P. Morgan (Eds.). Erosión de Suelos. México. p. 89-139.
- Richter, D. D., S. R. Soplaco y F. F. Nowak. 1985. Problemas de gestión de las Cuencas Altas Tropicales Húmedas. La Naturaleza y sus Recursos. XXI (4):10-21.
- Rickson, R. J. 1987. Small Plot Field Studies of Soil Erodability Using Rainfall Simulator. En I. Fla (Ed.). Soil Conservation and Productivity. Proceeding IV International Conference on Soil Conservation. Maracay, Venezuela, nov. 3-9, 1985. UCV. Caracas, Venezuela. p 339-343.
- Rodríguez, J. L. 1986. Una Metodología para la Evaluación del Factor Erosividad de la lluvia de la USLE. Universidad de los Andes, Facultad de Ingeniería, Escuela de Ing. Civil, Dpto. de Ing. Hidráulica y Sanitaria.

- Romero, E. 1980. Efecto de la Fertilización Nitrogenada (orgánica-inorgánica) Sobre la Relación suelo-Planta, Usando Como Cultivo a la Papa Variedad "Alpha", en la Región de los Andes. Tesis M.S. CIDIAT - ULA. Mérida, Venezuela. 85 p.
- Roose, E. J. 1977. Application of the Universal Soil Loss Equation in West Africa. En R. Lal (Ed.). Soil Conservation and Management in the Humid Tropics. Proceeding of the National Conference on Soil Conservation. Nigeria, June, 1975. John Wiley and Sons, New York, USA. p. 176-185.
- SAS Institute Inc. 1985. SAS/STAT Guide Personal Computers, Version 6 Edition. North Caroline, USA. 371 p.
- Steegmayer, L. y C. Bustos. 1980. Proposición metodológica para los Estudios de Suelos en Cuencas Altas. Ministerio del Ambiente y de los Recursos Naturales Renovables (MARNR). San Cristobal, Venezuela 32 p.
- Stocking, M. 1987. Measuring Land Degradation. En P. Blaikie y H. Brookfield (Eds.). Land Degradation and Society. Methuen and Co. London, England. p. 49-63.
- Suarez, F. 1982. Conservación de Suelos. Instituto Interamericano de Cooperación para la Agricultura (IICA). San José, Costa Rica. 315 p.
- Thomas, A. W., R. L. Jackson y J. R. Correker. 1968. Soil Water and Nutrient Losses From Tiflon Loamy Sand. Trans., Amer. Soc. Agric. Eng. 11: 677-679.
- Unger, P. W. 1988. Sistemas de Labranza para la Conservación del suelo y del agua. Boletín de Suelos de la FAO N^o 54. Rome, Italy. 288 p.
- USDA, 1970. Diagnóstico y Rehabilitación de Suelos Salinos y Sódicos. Traducción del Texto Original en Inglés. Centro Regional de Ayuda Técnica. Agencia para el Desarrollo Internacional (AID). México. 332 p.
- USDA - SCS. 1966. Manual de Conservación de Suelos. Departamento de Agricultura de los Estados Unidos de América. Servicio de Conservación de Suelos. Centro Regional de Ayuda Técnica. Agencia para el Desarrollo Internacional (AID). México. 332 p.
- Useche, R., J. Mendez y F. Yañez. 1987. Evaluación Preliminar del Factor "C" en la Ecuación Universal de Pérdidas de Suelo Bajo Diferentes Prácticas de Manejo en el Cultivo de

- Cafeto. Ciencias de la Tierra. Rev. Científica de la Universidad Nacional Experimental del Tachira (UNET). 1: 67-75.
- Velasquez, F. 1987. Instructivos para los Estudios Hidrológicos-Conservacionistas. PROCOIMA S.R.L. Caracas, Venezuela. 139 p.
- White, E. M. y E. J. Williamson. 1973. Plant Nutrient Concentrations in Runoff Fertilized Cultivated Erosion Plots and Prairie in Eastern South Dakota. J. Envir. Q. 2(4): 453-455.
- Wischmeier, W. H. 1959. A Rainfall Erosion Index for a Universal Soil Loss Equation. Soil Sci. Soc. Amer. J. 23:246-249.
- Wischmeier, W. H. 1960. Cropping-Management Factor Evaluations for a Universal Soil Loss Equation. Soil Sci. Soc. Amer. J. 24: 322-326.
- Wischmeier, W. H. 1976. Use and Missuse of the Universal Soil Loss Equation. J. Soil Water. 31:5-9.
- Wischmeier, W. H. 1984. The USLE: Some Reflections. J. Soil Water. 39:105-107.
- Wischmeier, W. H., C. B. Johnson y B. V. Cross. 1971. A Soil Erodability Nomograph for Farmland and construction Sites. J. Soil Water. 26: 189-193.
- Wischmeier, W. H. y D. D. Smith. 1958. Rainfall Energy and Its Relation to Soil Loss. Trans. Amer. Geophys. Union. 39: 285-291.
- Wischmeier, W. H. y D. D. Smith. 1978. Predicting Rainfall-Erosion Losses: A Guide to Conservation Planning. Agricultural Handbook N^o 537. United Department of Agriculture. Washignton D.C., USA. 58 p.
- Yoder, R. E. 1936. A Direct Method of Agregates Analysis of Soil and Study of the Physical Nature of Erosion Losses. Amer. Soc. Agron. J. 28:337-351.
- Zachar, D. 1982. Soil Erosion. Development in Soil Science 10. Elsevier Scientific Publishing Company, New York, USA. 547 p.

www.bdigital.ula.ve

AFENDICE

Apéndice A

Características Físicas y químicas de los Suelos en el Sitio de Estudio

Tabla A1. Descripción del Perfil Típico (Romero, 1980).

Describió: E. Romero C.

Fecha: 10-11-78

Localización: Estación Experimental "Santa Rosa" IIAP-ULA.

Altitud: 2.100 msnm

Clima: Gw"i

Zona de Vida: Bosque Húmedo Fremontano

Vegetación: Selva Estacional Montaña, fuertemente intervenida, producto del gran uso agrícola que se le ha dado por muchos años.

Geomorfología: Cono Terraza T₂

Material Basal: Sedimentos Cuaternarios, coluvios y cantos, integrados por areniscas, gneis y granitos.

Forma del Terreno y ubicación del perfil: Ligeramente inclinado, alta y convexa.

Pendiente: 3-7%

Drenaje: Bien drenado.

Nivel freático: No presente.

Erosión: Láminar muy ligera.

Profundidad Efectiva: 30 cm (muy superficial).

Taxonomía: Humitropepts típico, esquelético franco, mixto, isotérmico.

Observaciones:

El perfil presenta un horizonte úmbrico, desarrollo estructural claramente definido en los primeros 60 cm, no hay reacción al HCl, habiendo reacción fuerte al NH₄F. Su profundidad efectiva es de 30 cm aproximadamente, limitante de la profundidad la alta pedregosidad. Los fragmentos gruesos son abundantes, alcanzando el límite de esquelético a través del solum.

El análisis de algunas rocas seleccionadas en base a su abundancia, revela el origen metamórfico (constituidas

básicamente por: areniscas, gneis) e ignea. El origen coluvial se evidencia por: desgaste del material muy pobre, hay angulosidad muy marcada, lo que nos indica que el transporte ha sido corto y rápido. La gran heterometría es también índice evidente de la dinámica predominante, de las corrientes de agua que han depositado el material o de la intervención de otros mecanismos productores de poco desgaste (solifluxión).

Descripción de Calicata (Romero, 1980).

- 0 - 26
(Ah) Marrón oscuro 7,5 YR4/2 (S) y marrón muy oscuro 10 YR2/2 (H) franco con grava (10-15%); bloques subangulares, muy fino a fino, moderado desarrollo; dura y muy friable, ligeramente pegajoso y plástico; poros abundantes, finos a medianos, exped; raíces abundantes (bachachos, hormigas, lombrices); no hay reacción al HCl, reacción fuerte al NH₄F; límite claro, ondulado, pH 5,9.
- 26- 60
(C1) Amarillo 10Y7/8 (S) y amarillo parduzco 10YR6/8 (H); franco arenoso con grava (25-35%); bloques subangulares, medianamente finos, moderado a débil desarrollo; blanda y friable, ligeramente pegajoso y ligeramente plástico, cutáneas delgadas y pocas, de hierro y materia orgánica; poros abundantes, finos inped; raíces pocas gruesas, microorganismos abundantes (bachachos y lombrices); no hay reacción al HCl, reacción fuerte al NH₄F, límite gradual y ondulado, pH 5,3.
- 60- 110
(C2) Amarillo 10 YR7/8 (S) y amarillo parduzco 10 YR6/8 (H), manchas pocas y pequeñas, difusas, contrastadas, franco arenoso con grava (25-35%) y blocosa subangular que parte a grano simple, fina, muy débil, suelta, ligeramente pegajosa y ligeramente plástico, poros abundantes, medianamente finos, inped, no hay raíces; microorganismos, muy pocos, no hay reacción al HCl; límite gradual y ondulado; pH 5,6.

Tabla A.2. Análisis de Calicatas; Laboratorio de Suelos, Escuela de Geografía, Universidad de los Andes. Romero (1983).

Profun. (cm)	Horiz.	Esq. Gr.	Arena			%a	%L	%A	Clasif. Textura	Densidad Aparente g/cm ³	Humedad (%)	
			M. gruesa	Gruesa	media fina						Pw	Pw
0-26	Ah	50,87	10,74	8,60	6,71	42,22	37,00	20,78	F	1,07	32,5	22,0
26-60	C1	52,68	7,77	10,68	10,81	55,57	34,43	10,00	Fa	1,39	23,0	12,0
60-110	C2	50,65	7,38	12,92	12,09	63,31	31,36	5,08	Fa	1,58	18,5	8,0

Profun. (cm)	Horiz.	Relación Suelo-Ext.	pH		C.E. (mhosx10 ⁻⁵)	C.O. (%)	N (%)	P (%)	Ca ⁺⁺	Mg ⁺	Na ⁺	K ⁺	A ⁺⁺⁺	Sal Bases (%)	Ca/Mg Mg/K	
			H ₂ O	KCl												
0-26	Ah	1:2	5,9	4,8	9,6	8,14	0,39	6,65	9,00	0,16	0,07	0,18	16,00	58,52	56,2	1,13
26-60	C1	1:2	5,3	4,3	4,9	1,50	0,081	6,30	0,35	0,10	0,05	0,08	6,00	9,67	3,5	1,25
60-110	C2	1:2	5,6	4,4	5,1	0,65	0,034	6,60	0,35	0,03	0,06	0,06	4,00	12,50	11,7	0,50

Tabla A3. Análisis de Características Físicas para la Determinación del Factor K de la EUPS.

% de Limo + Arena muy Fina (0,002 a 0,1 mm)	: 34,52
% de Arena Fina a muy Gruesa (0,10 a 2 mm)	: 39,48
Permeabilidad	: Moderada
Estructura	: Media a Gruesa - Granular.

Tabla A4. Densidad Aparente "da".

Datos:

Masa de Suelo Seco "MSS" = 424,2 g

Volumen de Suelo Seco "VSS" = 331,34 cc

$$da = \frac{MSS}{VSS}$$

$$da = \frac{424,20 \text{ g}}{331,34 \text{ cc}}$$

$$da = 1,28 \text{ g/cc}$$

Tabla A5. Prueba de Estabilidad Estructural

Diámetro del Tamiz	% de Agregados en mm	% de Agregados > que	% de Agregados < que
6,30	---	0,00	100,00
4,00	24,22	24,22	75,78
3,36	3,78	3,78	72,00
2,00	5,06	5,06	66,94
1,00	4,78	4,78	66,16
0,50	5,55	5,55	56,16
			433,49

www.bdigital.ula.ve

$$MG = \frac{\text{Diámetro mayor de Agregados}}{2^{\exp \left(\frac{\% \text{ Acumulado} - 50}{100} \right)}}$$

$$MG = \frac{6,3}{2^{\exp \left(\frac{433,49 - 50}{100} \right)}}$$

$$MG = \frac{6,3 \text{ mm}}{2^{3,83}}$$

$$MG = 0,442 \text{ mm } \text{ ó } 442$$

Obs: Tamaño de agregados analizados: entre 6,3 y 4mm, representando un 0,59% de la muestra total recolectada en el campo.

Tabla A6. Análisis Químico de Muestras de Suelos realizados por etapas para determinar las pérdidas de nutrimentos en cada uno de los tratamientos considerados en la Investigación. Laboratorio de Suelos, Escuela de Geografía, Universidad de los Andes.

Tratamiento	Repetición	E T A P A S			E T A P A S			E T A P A S		
		Primera			Segunda			Tercera		
		C.O (%)	N (%)	P (ppm)	C.O (%)	N (%)	P (ppm)	C.O (%)	N (%)	P (ppm)
Testigo	1	4,59	0,210	51	3,93	0,249	51	5,22	0,359	51
	2	5,37	0,258	52	4,12	0,271	66	5,70	0,438	51
	3	6,69	0,341	59	5,13	0,359	78	6,21	0,420	40
Papa	1	3,71	0,175	31	3,18	0,236	59	3,99	0,280	52
	2	4,56	0,219	48	4,31	0,280	50	5,06	0,289	48
	3	4,92	0,219	51	4,26	0,280	68	5,91	0,359	53
Pasto	1	4,91	0,245	68	3,46	0,219	56	2,66	0,166	48
	2	4,72	0,263	56	4,44	0,288	50	4,14	0,254	55
	3	5,50	0,271	52	4,02	0,258	59	4,78	0,333	62

Tabla A7. Análisis Químico realizado para determinar los niveles de fertilidad de los suelos, para el momento de la instalación del ensayo.

Profundidad cm	Clase textural	pH	C.O %	N %	P ppm	K ppm
0 - 50	FAa	5,7	5,88	0,394	44	234

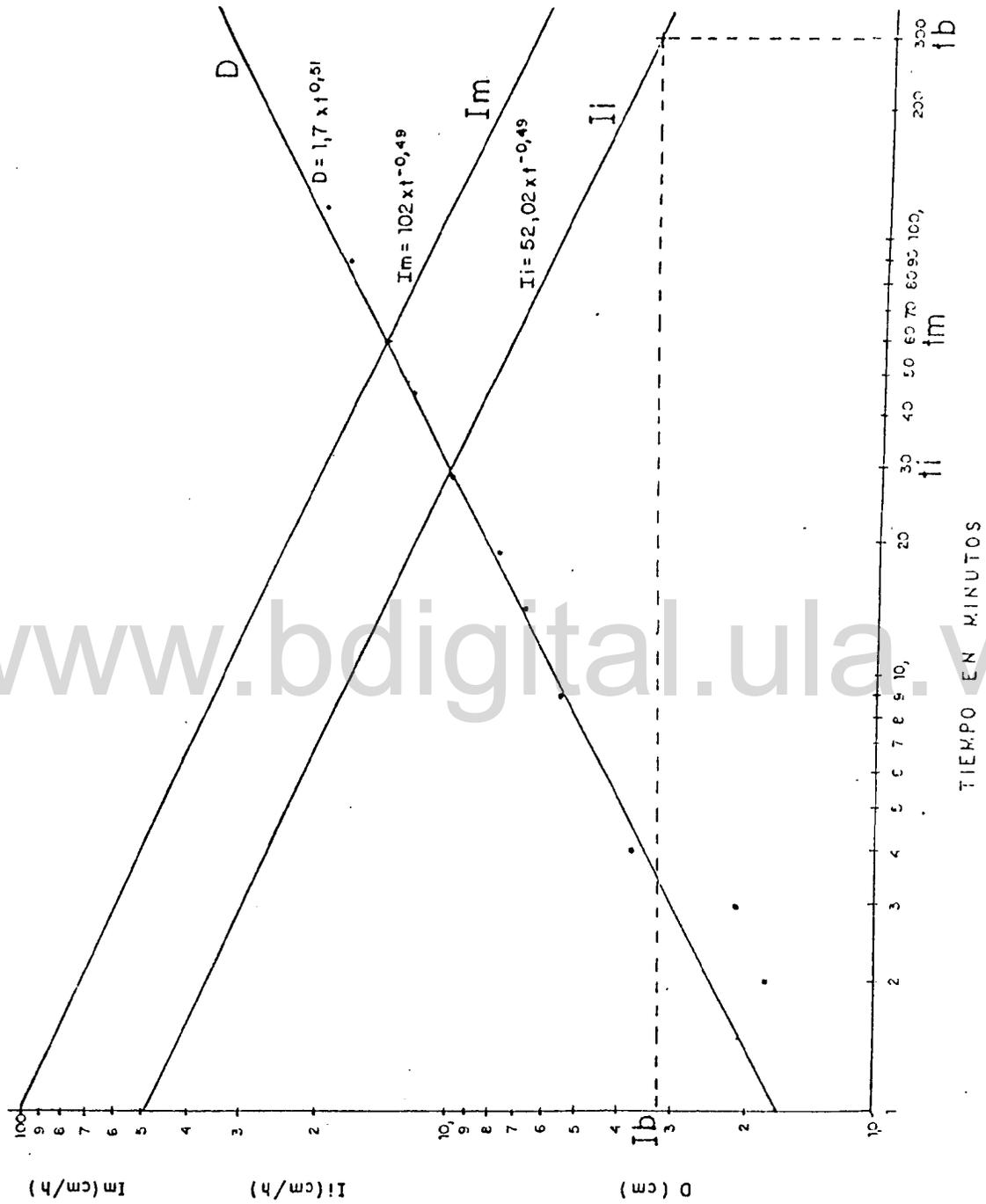


Figura A1 Curvas de Infiltración acumulada (D), media (Im) e instantánea (Ii).

Apéndice B
Información Climática
www.bdigital.ula.ve

Tabla B1. Distribución Mensual de Precipitación, Promedio de 22 años (1967 - 1988) y Período de observación (1988). Estación Experimental "Sta. Rosa", IIAP - ULA. Edo. Mérida.

	ENERO	FEBRERO	MARZO	ABRIL	MAYO	JUNIO	JULIO	AGOSTO	SEPTIEMBRE	OCTUBRE	NOVIEMBRE	DICIEMBRE	TOTAL
1967	113,5	45,3	63,1	223,6	166,9	67,5	146,1	68,2	174,2	223,2	157,1	109,8	1616,5
1968	50,1	29,7	61,5	387,0	346,8	328,1	146,1	151,6	104,8	328,2	255,4	78,6	2267,9
1968	60,8	52,7	45,2	372,6	196,0	209,6	65,0	155,4	239,3	443,1	313,2	117,2	2270,1
1970	84,8	45,0	47,3	115,8	239,9	183,3	172,8	157,3	205,1	378,6	318,6	165,5	2114,0
1971	159,3	157,3	230,2	246,3	329,7	68,3	89,5	209,0	256,5	275,8	192,6	187,2	2401,7
1972	207,9	83,9	195,5	550,7	325,7	133,3	18,0	64,7	231,0	181,4	181,1	136,5	2309,7
1973	16,3	8,9	95,4	93,8	140,2	148,1	96,7	197,8	292,0	186,5	225,9	132,6	1635,2
1974	82,7	69,9	151,0	163,7	262,5	68,8	58,7	119,2	192,6	297,4	217,9	21,9	1726,3
1975	37,9	57,2	136,7	201,6	292,5	108,8	132,5	116,7	296,0	296,5	310,8	289,0	2278,2
1976	76,0	131,5	237,8	281,4	213,3	88,0	76,9	111,6	158,2	323,5	108,9	41,4	1648,5
1977	10,4	0,4	101,8	61,9	271,9	111,1	75,6	69,1	130,7	426,4	270,3	48,5	1578,1
1978	77,5	26,1	144,1	362,9	302,4	203,0	61,4	127,4	154,5	297,2	122,6	117,4	2006,4
1979	49,3	71,6	86,5	347,4	229,5	269,4	98,5	192,6	178,1	465,2	353,7	120,5	2464,3
1980	58,6	131,7	35,5	122,4	226,0	146,3	124,5	185,7	325,7	166,5	197,6	84,1	1804,6
1981	53,4	86,2	68,6	187,5	115,1	235,7	62,6	176,1	126,6	258,9	203,4	132,6	1706,7
1982	125,0	230,8	156,4	372,9	386,9	151,7	67,9	41,3	224,9	360,0	207,3	106,7	2442,8
1983	35,3	21,7	26,4	329,7	379,8	96,3	132,0	115,5	245,2	197,1	230,1	147,2	1959,3
1984	46,6	82,8	50,3	122,9	164,8	90,9	114,9	91,5	334,4	296,5	252,1	67,6	1715,3
1985	10,6	17,7	198,6	209,6	245,6	90,0	135,3	161,4	144,3	273,5	227,7	161,6	1877,1
1986	76,7	132,3	82,7	272,8	295,6	134,9	86,2	105,4	331,9	532,7	135,5	25,0	2212,7
1987	8,2	28,5	74,2	140,3	282,7	166,9	52,1	109,3	179,5	442,5	273,4	110,8	1867,4
1988	14,5	143,2	127,5	310,4	307,7	223,5	87,0	343,9	274,0	312,5	479,6	131,8	2695,7
Media	66,2	76,6	110,5	251,7	260,1	151,2	95,5	139,4	215,4	316,5	238,0	115,2	2036,3
D.E	50,2	57,9	64,1	121,9	74,4	70,3	38,3	65,4	69,0	99,5	84,2	59,3	
C.V	75,8	75,6	58,0	49,4	28,6	46,5	40,1	46,9	32,0	31,4	35,4	51,5	

FUENTE: INSTITUTO DE INVESTIGACIONES AGROPECUARIAS - UNIVERSIDAD DE LOS ANDES (IIAP - ULA).

Tabla B2. Precipitación: Intensidades (I_{30}) e Índices de Erosividad (EI_{30}) Calculados.

Etapa	Fecha	Precep. (mm)	I_{30} (mm/h)	EI_{30} (10^7 j.mm/ha.h)	
1 ^{ra}	29-VIII	27,8	18,0	10,00	
	31-VIII	22,3	11,0	4,70	
	1-IX	11,9	7,2	1,52	
	2-IX	11,2	12,2	2,76	
	3-IX	51,4	26,0	30,53	
	6-IX	22,1	9,2	3,46	
	9-IX	12,2	9,0	1,67	
	10-IX	18,6	9,8	3,39	
	Total por Etapa		177,5		58,03
	2 ^{da}	18-IX	16,0	11,0	3,40
27-IX		12,8	14,0	3,58	
30-IX		12,3	8,6	1,92	
2-X		13,9	13,0	3,34	
3-X		20,4	11,8	4,77	
4-X		12,6	16,4	4,14	
5-X		37,1	20,0	16,17	
6-X		20,1	8,0	2,77	
7-X		12,0	10,4	2,33	
11-X		30,3	17,6	2,33	
Total por Etapa		187,5		53,93	
3 ^{ra}	16-X	32,0	17,0	10,71	
	17-X	13,4	11,2	3,05	
	19-X	23,2	14,0	6,54	
	20-X	20,6	7,0	2,52	
	21-X	18,2	14,4	5,24	
	1-XI	24,9	13,2	6,36	
	6-XI	16,0	14,0	4,19	
	8-XI	30,5	15,2	9,23	
	11-XI	36,8	14,0	9,53	
	12-XI	36,2	19,6	15,26	
	13-XI	20,4	10,0	2,31	
	14-XI	41,0	17,2	13,38	
	15-XI	17,8	13,6	4,74	
	16-XI	20,1	10,0	4,32	
	18-XI	30,2	12,2	6,51	
	19-XI	30,9	11,6	6,10	
	21-XI	31,5	16,0	10,29	
	22-XI	23,0	12,4	5,24	
	24-XI	44,6	19,0	18,30	
	Total por Etapa		511,3		143,82
	Total del Período		876,3		255,78

www.bdigital.ula.ve

Apéndice C

Datos Obtenidos en el Campo

Tabla C1. Totales Promedios por Parcela (tres Repeticiones) de la Cantidad de Sedimentos y el Volumen de Escurrimiento para Cada Observación Durante las Etapas Evaluadas. IIAP-ULA. Mérida.

Etap	Obs	Testigo		Tratamiento		Pasto	
		Sedimen. (g)	Esc. (L)	Sedimen. (g)	Esc. (L)	Sedimen. (g)	Esc. (L)
1 ^{ra}	1	1584,07	46,87	2287,07	77,67	629,94	15,67
	2	1468,32	65,83	1679,47	101,63	248,30	25,63
	3	266,48	37,00	394,23	52,30	162,23	37,00
	4	1760,88	61,03	1838,37	72,03	564,87	29,90
	5	10929,73	210,00	9163,03	210,00	2095,13	210,00
	6	1062,37	94,17	1154,00	101,13	520,23	45,93
	7	915,67	31,97	980,73	64,33	397,40	32,37
	8	1083,43	66,23	1092,20	71,25	597,55	38,50
	Total		19340,94	613,10	18589,10	750,34	5215,66
2 ^{da}	9	443,56	5,00	397,23	4,27	130,09	3,50
	10	195,57	3,10	154,58	2,17	45,52	2,43
	11	59,87	3,03	38,40	2,00	0,36	2,47
	12	914,13	26,00	599,74	25,33	21,60	4,13
	13	320,92	27,20	192,31	31,23	14,23	4,03
	14	1512,67	27,03	826,05	24,33	9,53	2,90
	15	5717,67	181,80	2947,24	144,47	174,18	22,53
	16	1957,60	36,07	473,84	32,47	1,27	3,83
	17	2419,30	56,07	885,58	32,67	13,95	4,07
	18	3865,58	136,43	1227,72	86,57	7,19	11,17
Total		17406,86	501,43	7742,69	385,51	417,91	61,07
3 ^{ra}	19	2371,34	99,57	197,37	58,47	44,77	6,07
	20	3114,70	62,07	219,20	42,19	16,22	5,77
	21	4474,74	168,53	320,23	95,52	26,00	11,10
	22	2248,81	82,40	130,48	47,26	19,83	8,03
	23	2230,17	99,60	100,00	52,28	12,97	9,03
	24	1267,88	60,00	69,43	36,32	6,43	6,00
	25	1613,90	66,03	80,66	35,83	6,80	6,80
	26	2565,29	168,13	203,22	109,79	6,27	9,60
	27	2718,32	152,50	52,06	86,63	3,03	7,63
	28	4356,48	206,36	168,38	138,63	2,95	26,67
	29	788,87	42,57	29,42	31,67	0,00	2,97
	30	3844,67	210,00	149,04	135,33	2,27	25,13
	31	3105,57	82,63	82,70	46,05	0,00	1,97
	32	1654,63	68,33	72,03	46,97	0,00	2,67
	33	3236,37	206,17	99,93	106,07	0,00	11,00
	34	1246,02	164,87	80,63	84,30	0,00	9,67
	35	633,40	169,00	47,67	101,53	1,22	6,00
	36	1744,96	152,10	180,88	119,20	0,00	24,00
	37	3901,60	210,00	995,52	185,93	1,79	15,00
Total		47117,71	2470,83	3278,87	1559,97	148,64	195,11

www.bdigital.ula.ve

Apéndice D

Valores Obtenidos en los Análisis Estadísticos

•••

Tabla D1. Análisis de Varianza, Variable Dependiente Escurrimiento (L). Primera Etapa.

F.V.	G.L.	S.C.	C.M.	F c.	
Tratam.	2	220.560,11	145.480,10	70,61	**
Error	6	12.362,65	2.060,44		
Total	8	303.322,76			

Tabla D2. Análisis de Varianza, Variable Dependiente Escurrimiento (L). Segunda Etapa.

F.V.	G.L.	S.C.	C.M.	F c.	
Tratam.	2	312.954,11	156.477,15	528,03	**
Error	6	1.778,01	296,34		
Total	8	314.732,30			

Tabla D3. Análisis de Varianza, Variable Dependiente Escurrimiento (L). Tercera Etapa.

F.V.	G.L.	S.C.	C.M.	F c.	
Tratam.	2	7.871.519,46	3.935.759,73	134,78	**
Error	6	17.521,47	29.202,24		
Total	8	7.889.040,93			

Tabla D4. Análisis de Varianza, Variable dependiente Escurrimiento (L). Periodo Total de Investigación.

F.V.	G.L.	S.C.	C.M.	F c.	
Tratam.	2	14.349.070,41	7.174.535,20	365,35	**
Error	6	667.672,07	11.127,01		
Total	8	14.415.832,48			

F.V. : Fuente de Variación
 G.L. : Grados de Libertad
 S.C. : Cuadrados Medios
 Fc : F Calculado
 Tratam. : Tratamiento
 ** : Altamente significativo.

Tabla D5. Discriminación de Medias Según el Método de Duncan, para el Escurrimiento (L/ parcela), Bajo Condiciones Específicas de Uso de la Tierra, Durante Tres Etapas de Crecimiento y para el Total del Período de Investigación.

Etapa	Grupos	Medias ^{1/}	Tratamiento
1 ^{ra}	A	319,30	Pasto
	B	613,50	Testigo
	C	750,35	Papa
2 ^{da}	A	61,70	Pasto
	B	385,50	Papa
	C	501,73	Testigo
3 ^{ra}	A	195,10	Pasto
	B	1.559,99	Papa
	C	2.470,83	Testigo
Total	A	575,47	Pasto
	B	2.695,84	Papa
	C	3.585,66	Testigo

1/ Promedio de tres valores.

Tabla D6. Análisis de Varianza, Variable Dependiente Pérdida de suelo (g). Primera Etapa.

F.V.	G.L.	S.C.	C.M.	F c.
Tratam.	2	378.937.611,50	189.468.805,80	476,86 **
Error	6	2.383.963,50	397.327,30	
Total	8	381.321.575,00		

Tabla D7. Análisis de varianza, Variable Dependiente Pérdida de Suelo (g). Segunda Etapa.

F.V.	G.L.	S.C.	C.M.	F c.
Tratam.	2	435.673.230,00	217.836.615,00	434,30 **
Error	6	3.009.363,90	501.560,70	
Total	8	438.682.593,90		

Tabla D8. Análisis de Varianza, Variable Dependiente Pérdida de Suelo (g). Tercera Etapa.

F.V.	G.L.	S.C.	C.M.	F c.
Tratam.	2	4.137.736.708,00	2.068.868.354,00	6.654,15 **
Error	6	1.865.483,00	310.913,80	
Total	8	4.139.602.191,00		

Tabla D9. Análisis de Varianza, Variable Dependiente pérdida de Suelo (g). Periodo Total de Investigación.

F.V.	G.L.	S.C.	C.M.	F c.
Tratam.	2	9.608.389.586,00	4.804.194.793,00	1.591,92 **
Error	6	18.107.225,00	3.017.870,80	
Total	8	9.626.496.811,00		

Tabla D10. Discriminación de Medias Según el Método de Duncan para La Pérdida de Suelo (g/ parcela), Bajo Condiciones Específicas de Uso de la Tierra, Durante Tres Etapas de Crecimiento y para el Total del Período de Investigación.

Etapa	Grupos	Medias 1/	Tratamiento
1 ^{ra}	A	5.215,66	Pasto
	B	18.589,10	Papa
	C	19.340,90	Testigo
2 ^{da}	A	417,91	Pasto
	B	7.742,68	Papa
	C	17.406,86	Testigo
3 ^{ra}	A	148,64	Pasto
	B	3.248,87	Papa
	C	47.117,71	Testigo
Total	A	5.782,21	Pasto
	B	29.610,65	Papa
	C	83.865,51	Testigo

1/ Promedio de tres valores.

Tabla D11. Análisis de Varianza, Variable Dependiente Pérdida de Materia Orgánica (kg/ha). Primera Etapa.

F.V.	G.L.	S.C.	C.M.	F c.
Tratam.	2	2.078.158,48	1.039.079,24	42,17 **
Error	6	147.846,93	24.641,16	
Total	8	2.226.005,41		

Tabla D12. Análisis de Varianza, Variable Dependiente Materia Orgánica (kg/ha). Segunda Etapa.

F.V.	G.L.	S.C.	C.M.	F c.
Tratam.	2	1.738.909,57	86.9454,79	143,48 **
Error	6	36.358,04	6.059,67	
Total	8	1.775.267,61		

Tabla D13. Análisis de Varianza, Variable Dependiente Materia Orgánica (kg/ha). Tercera Etapa.

F.V.	G.L.	S.C.	C.M.	F c.
Tratam.	2	27.908.662,70	13.954.331,35	204,82 **
Error	6	136.260,46	68.130,23	
Total	8	28.044.923,16		

Tabla D14. Análisis de Varianza, Variable Dependiente Materia Orgánica (kg/ha). Período Total de Investigación.

F.V.	G.L.	S.C.	C.M.	F c.
Tratam.	2	60.415.957,13	30.207.978,57	211,81 **
Error	6	855.695,82	142.615,97	
Total	8	61.271.652,95		

Tabla D15. Discriminación de Medias Según el Método de Duncan, para La Pérdida de Materia Orgánica (kg/ha) Bajo Condiciones Específicas de Uso de la Tierra, Durante Tres Etapas de Crecimiento y para el Total del Período de Investigación.

Etapa	Grupos	Medias ^{1/}	Tratamiento
1 ^{ra}	A	377,58	Pasto
	B	1.171,04	Papa
	C	1.539,46	Testigo
2 ^{da}	A	23,91	Pasto
	B	434,73	Papa
	C	1.096,96	Testigo
3 ^{ra}	A	7,93	Pasto
	B	234,23	Papa
	C	3.611,92	Testigo
Total	A	409,42	Pasto
	B	1.180,00	Papa
	C	6.248,24	Testigo

1/ Promedio de tres valores.

Tabla D16. Análisis de Varianza, Variable Dependiente Pérdida de N total (kg/ha). Primera Etapa.

F.V.	G.L.	S.C.	C.M.	F c.
Tratam.	2	1.565,66	782,83	25,28 **
Error	6	186,52	31,09	
Total	8	1.752,18		

Tabla D17. Análisis de Varianza, Variable Dependiente Pérdida de N total (kg/ha). Segunda Etapa.

F.V.	G.L.	S.C.	C.M.	F c.
Tratam.	2	2.605,96	1.302,98	86,39 **
Error	6	90,49	15,08	
Total	8	2.696,45		

Tabla D18. Análisis de Varianza, Variable Dependiente Pérdida de N total (kg/ha). Tercera Etapa.

F.V.	G.L.	S.C.	C.M.	F c.
Tratam.	2	48.014,66	24.007,33	323,16 **
Error	6	445,73	74,29	
Total	8	48.460,39		

Tabla D19. Análisis de Varianza, Variable Dependiente Pérdida de N total (kg/ha). Periodo Total de Investigación.

F.V.	G.L.	S.C.	C.M.	F c.
Tratam.	2	80.700,18	40.350,09	20,48 **
Error	6	11.821,59	1.970,27	
Total	8	92.521,77		

Tabla D20. Discriminación de Medias Según el Método de Duncan, para La Pérdida de N total (kg/ha) Bajo Condiciones Específicas de Uso de la Tierra, durante tres Etapas de Crecimiento y para el Total del Periodo de Investigación.

Etapa	Grupos	Medias ^{1/}	Tratamiento
1 ^{ra}	A	11,31	Pasto
	B	31,60	Papa
	C	43,52	Testigo
2 ^{da}	A	0,89	Pasto
	B	17,09	Papa
	C	42,51	Testigo
3 ^{ra}	A	0,30	Pasto
	B	8,44	Papa
	C	159,40	Testigo
Total	A	1,87	Pasto
	B	57,13	Papa
	C	225,43	Testigo

^{1/} Promedio de tres valores.

Tabla D21. Análisis de Varianza, Variable Dependiente Pérdida de P soluble (kg/ha). Primera Etapa.

F.V.	G.L.	S.C.	C.M.	F c.
Tratam.	2	0,5728	0,2864	28,23 **
Error	6	0,0609	0,0101	
Total	8	0,6337		

Tabla D22. Análisis de Varianza, Variable Dependiente Pérdida de P soluble (kg/ha). Segunda Etapa.

F.V.	G.L.	S.C.	C.M.	F c.
Tratam.	2	1,2876	0,6438	54,66 **
Error	6	0,0707	0,0117	
Total	8	1,3583		

Tabla D23. Análisis de Varianza, Variable Dependiente Pérdida de P soluble (kg/ha). Tercera Etapa.

F.V.	G.L.	S.C.	C.M.	F c.
Tratam.	2	6,4250	3,2125	122,61 **
Error	6	0,1572	0,0262	
Total	8	6,5822		

Tabla D24. Análisis de Varianza, Variable Dependiente Pérdida de P soluble (kg/ha). Período Total de Investigación.

F.V.	G.L.	S.C.	C.M.	F c.
Tratam.	2	18,4078	9,2039	398,39 **
Error	6	0,1386	0,0231	
Total	8	18,5464		

Tabla D25. Discriminación de Medias Según el Método de Duncan para La Pérdida de N soluble (kg/ha) Bajo Condiciones Específicas de Uso de la Tierra, durante tres Etapas de Crecimiento y para el Total del Período de Investigación.

Etapa	Grupos	Medias ^{1/}	Tratamiento
1 ^{ra}	A	11,31	Pasto
	B	31,60	Papa
	C	43,52	Testigo
2 ^{da}	A	0,89	Pasto
	B	17,09	Papa
	C	42,51	Testigo
3 ^{ra}	A	0,30	Pasto
	B	8,44	Papa
	C	159,40	Testigo
Total	A	1,87	Pasto
	B	57,13	Papa
	C	225,43	Testigo

^{1/} Promedio de tres valores.