

INSTITUTO SUPERIOR DE CIENCIAS AGROPECUARIAS

ESCUELA DE PRODUCCION VEGETAL

DEPARTAMENTO DE SUELOS Y AGUAS

Trabajo de Diploma

**Tema: Evaluación de índices de erodabilidad a través de
pérdidas de suelo, mediante un mini-simulador de
lluvia**

Autor: William Ramón Gámez Morales.

Asesor: MSc. Ing. Adriaan Vogel.

Managua, Nicaragua.

Diciembre, 1989.

Dedicatoria

**A mi abuela Claudina, a mis hermanas Sandra y Argentina.
que siempre me brindaron un apoyo incondicional y me
alentaron siempre a seguir adelante.**

II

Agradecimiento

A mi asesor quien estuvo siempre presente para brindarme su apoyo, durante el desarrollo de este trabajo.

A los compañeros del laboratorio de Física de Suelo: Cornelia y Jaime.

A mis compañeros de trabajos : Alvaro. Matilde. Abraham, Edmundo, Domingo, Aburto, Mauricio y Carlos que me brindaron su apoyo para la elaboración final de este trabajo.

III

INDICE

Contenido	Página
Dedicatoria	i
Agradecimiento	ii
Indice	iii
Indice de tablas	iv
Resumen	v
I Introducción	
II Desarrollo de la simulación de lluvia	
III Materiales y Métodos	
3.1.. Etapa de laboratorio	
3.1.1. Uso del mini-simulador de lluvia	
3.1.2. Tratamiento de estudio	
3.1.3. Medición y cálculo	
3.1.4. Diseño Experimental	
3.2. Etapa de campo	
3.2.1. Ubicación y descripción del sitio de estudio	
3.2.2. Tratamiento de estudio	
3.2.3. Preparación de la parcela	
3.2.4. Medición y cálculo	
3.2.5. Diseño Experimental	
IV Resultados y discusión	
4.1. Etapa de laboratorio	
4.1.1. Determinación del escurrimiento superficial, pérdidas de suelo y la concentración de sedimentos	
4.1.2. Determinación de los factores constantes de la EUPS	
4.1.3. Determinación de los índices de erodabilidad (I.K.)	
4.1.4. Determinación del factor Cobertura vegetal y manejo del cultivo	
4.1.5. Separación de medias usando Duncan con un nivel de significancia de 0.05	
4.2. Etapa de campo	
4.2.1. Determinación del escurrimiento superficial, las pérdidas de suelo u la concentración de sedimentos	
4.2.2. Determinación de los factores constantes de la EUPS	
4.2.3. Determinación de los índices de erodabilidad (IK)	
4.2.4. Separación de medias usando Duncan con un nivel de significancia de 0.05	
V Conclusión	
VI Recomendaciones	
VII Bibliografía	

VIII Anexos

- Anexo 1. Especificaciones de diseño del mini-simulador de lluvia**
- Anexo 2. Pasos para el llenado y calibración del depósito asociador del mini-simulador de lluvia antes de la simulación de la lluvia**
- Anexo 3. Descripción de series de suelos, utilizados en la etapa de laboratorio (Catastro, 1971)**
- Anexo 4. Descripción de unidades cartográficas del mapa de suelos de la finca "El Plante" (Zelaya, 1989)**

IV

Indice de tablas

Contenido	Página
Tabla Nº 1. Análisis textural y de pH	
Tabla Nº 2. Formulación de los tratamientos específicos	
Tabla Nº 3. Valores de "m" para la determinación del factor L	
Tabla Nº 4. Análisis físico-químico de los suelos de estudio	
Tabla Nº 5. Tratamiento de estudio y resultados correspondientes	
Tabla Nº 6. Índices de erodabilidad (IK)	
Tabla Nº 7. Tratamientos de estudio y resultados correspondientes	
Tabla Nº 8. Índices de erodabilidad (IK)	

Resumen

La erosión hídrica constituye una seria amenaza en muchas partes del mundo, y en Nicaragua constituye una de las causas principales de la desaparición de la capa más productiva de algunos suelos.

Para la lucha contra la erosión hídrica, es preciso conocer los factores y las causas que la provocan. El presente estudio hace un enfoque en algunos factores que influyen sobre el escurrimiento superficial y las pérdidas de suelo. Para lo cual se utilizó una técnica relativamente nueva en Nicaragua, como es la simulación de lluvia, a través de un mini-simulador fabricado en Holanda por Kamphorst (1987).

La investigación fue desarrollada en dos etapas:

1º- Etapa de laboratorio; realizada en el Laboratorio de Física de Suelos, propiedad del I.S.C.R. . Se utilizaron como factores de variación a tres clases texturales de suelo, dos tipos de cobertura vegetal y dos grados de humedad del suelo; para determinar por un lado; índices de erodabilidad mediante la E.U.P.S. (Wischmeier, 1987) y por otro lado evaluar la influencia de los factores mencionados anteriormente sobre el escurrimiento superficial, las pérdidas de suelo y la concentración de sedimentos.

2º- Etapa de campo: realizada en la finca "El Plantel" , propiedad del I.S.C.R. El factor de variación considerado fue la clase textural. Se determinaron índices de erodabilidad de los suelos de estudio mediante la E.U.P.S. y se evaluó la influencia de la textura sobre el escurrimiento superficial, las pérdidas de suelo y la concentración de sedimentos.

El presente estudio revela que el mini-simulador de lluvia, puede ser utilizado para la determinación de índices de erodabilidad como un parámetro indicador de cual suelo es más ó menos susceptible a la erosión hídrica.

Se recomienda dar seguimiento a esta investigación con una serie de trabajos, que permitan llegar a obtener, un gran número de suelos con sus índices de erodabilidad respectivos; y que en un futuro, estos índices puedan llegar a ser extrapolados para la determinación del factor erodabilidad del suelo (K).

I Introducción

Los suelos de Nicaragua están siendo afectados por el problema de erosión, debido a un mal manejo de las prácticas conservacionistas o bien por un total desconocimiento de ellas, o porque resultan "anti-económicas", sin considerar la fuerte degradación a la que estos suelos están expuestos.

La erosión de los suelos para su mejor estudio ha sido dividida en dos: erosión eólica y erosión hídrica; siendo interés de este estudio la erosión hídrica.

La erosión acelerada es un problema que se ha ido formando debido a la explotación irracional del recurso suelo de forma no planificada. Esta forma de degradación de los suelos muchas veces origina un serio desequilibrio ecológico.

Actualmente la civilización a nivel mundial sufre las consecuencias de este mal, y la expansión del problema, amenaza además, a las futuras generaciones. Por ello organismos tales como la FAO hacen el llamado a todas las naciones para que pongan mayor atención a los recursos naturales, entre ellos el recurso suelo; que es la base principal para el desarrollo de los cultivos.

Considerando la magnitud y gravedad del problema de la erosión, se puede discurrir sobre los efectos negativos que ocasiona cuando no se controla correctamente y en el momento preciso. Esto se refleja en la reducción de los rendimientos de los cultivos y el aumento de los costos de producción de alimentos y de fibras. Reduce los rendimientos al degradar la estructura del suelo, se obturan los poros de la superficie y se favorece el "encostrado", reduciendo además la infiltración del agua. La erosión hídrica disminuye la capacidad de retención del agua por el suelo y contribuye a la pérdida de nutrientes que son arrastrados junto con las partículas de suelo; afectando en definitiva la productividad del suelo (FAO, 1983). Por ello la necesidad de cultivar debe de ir acompañada de la planificación conservacionista, que involucre prácticas de conservación que estén fundamentadas en el conocimiento real de las causas y de los

factores que intervienen en la erosión hídrica.

En Nicaragua no se cuenta con estudios que caractericen a los factores y a las causas que provocan la erosión hídrica en nuestras propias condiciones. Por lo que actualmente los parámetros que se consideran para la interpretación de la erosión hídrica a través de la cuantificación de pérdidas de suelo, en Nicaragua, provienen de estudios realizados en otros países.

Este trabajo de investigación, está dirigido al estudio de algunos factores que intervienen en la erosión hídrica, en algunos suelos de Nicaragua, tanto a nivel de laboratorio como a nivel de campo. Para ello se utilizó una técnica que es relativamente nueva, en Nicaragua como es la técnica de simulación de lluvia. De tal manera que esta investigación contribuya al estudio de los factores que intervienen en la erosión hídrica, aplicado a las condiciones propias de los suelos del país.

Para ello se han propuesto los siguientes objetivos:

Objetivos generales:

1- Familiarización con la técnica de la mini-simulación de lluvia, con las ventajas y restricciones que pudiera presentar en las condiciones de Nicaragua, al determinar;

- * Pérdidas de suelo en condiciones de laboratorio
- * Pérdidas de suelo en condiciones de campo (en la finca "El Plantel" propiedad del ISCA)

2- Estudiar algunos factores que intervienen en la erosión hídrica.

Objetivos específicos:

1- Cuantificar las pérdidas de suelos considerando la clase textural, el tipo de cobertura y el contenido de humedad inicial; a nivel de laboratorio y de campo.

2- Determinar, los índices de erodabilidad de los suelos en estudio; a nivel de laboratorio y de campo.

3- Determinar la influencia de la clase textural sobre el escurrimiento superficial, las pérdidas de suelo y la concentración de sedimentos; a nivel de laboratorio y de campo.

4- Determinar la influencia de la cobertura vegetal y práctica de manejo (factor C de la EUPS) en el escurrimiento superficial, las pérdidas de suelo y la concentración de sedimentos, empleando dos diferentes tipos de coberturas; a nivel de laboratorio.

5- Determinar la influencia del contenido de humedad inicial del suelo sobre el escurrimiento superficial, las pérdidas de suelo y la concentración de sedimentos; a nivel de laboratorio.

II Desarrollo de la técnica de simulación de lluvia.

Através del tiempo se han realizado estudios sobre los factores que intervienen en la erosión hídrica y se ha buscado la forma de caracterizarlos cuantitativamente, llegandose a crear así diversos modelos matemáticos para la interpretación cuantitativa de los factores que intervienen en la erosión hídrica. En los Estados Unidos de Norteamérica en 1965 se da la publicación de una ecuación que se retoma en muchos países del mundo, para la cuantificación potencial de la erosión hídrica. Esta ecuación es conocida como la Ecuación Universal de Pérdidas de Suelos (EUPS), de Wischmeier y Smith (1976). La ecuación se define en Materiales y Métodos de este estudio y se utilizó para determinar valores relativos de erodabilidad de los suelos.

Posterior al desarrollo de los modelos matemáticos que caracterizan cuantitativamente a los factores que intervienen en el proceso de erosión hídrica, se fueron presentando nuevas interrogantes e hipótesis más específicas sobre los posibles factores que intervienen en este tipo de erosión, y uno de ellos fue la precipitación pluvial, donde se llegó a plantear que el tamaño de la gota de lluvia según Hudson (1964), Hall (1970), Lowe en 1982 citado por Hudson (1982); la intensidad según Hudson (1982) y la distribución de las gotas de lluvia según Laws (1940) eran elementos que influyen de sobremanera en la erosión hídrica; y fue entonces que se empezó a desarrollar la investigación en el campo de la simulación de lluvia. Surgió así la alternativa de poder eliminar las fluctuaciones de esta variable natural para ajustarla a los estudios con fines de investigación a corto plazo; surge de esta manera el estudio de las boquillas que proporcionan los diámetros de las gotas de lluvia similar a las de la lluvia natural. A la par se va desarrollando la obtención de la mejor distribución de las gotas de lluvia y la velocidad terminal de las mismas según o similares a la lluvia natural. De esta forma se crearon diversos modelos de simuladores de lluvia tales como los desarrollados por Meyer (1958) llamado por el mismo autor rainulator, el simulador de Swanson (1955), el infiltrómetro dispersador de Purdue (Bertrand y Parr,

1961) y el simulador de Morin et al (1967), entre otros.

Con el desarrollo de la técnica de la simulación de la lluvia, se han ido creando diversos aparatos, diseñados para estudios específicos. Tal es el mini-simulador de lluvia desarrollado en Holanda (Kamphorst, 1987), diseñado específicamente para estudiar la susceptibilidad a la erosión de los suelos, a nivel de laboratorio y en el campo. Este mini-simulador de lluvia es el que se ha utilizado para el desarrollo de esta investigación.

III Materiales y Métodos.

La investigación fue desarrollada en dos etapas: una etapa de laboratorio y una etapa de campo, utilizando un mini-simulador de lluvia.

3.1. Etapas de laboratorio.

3.1.1. Uso del mini-simulador de lluvia.

Se determinaron las características del mini-simulador de lluvia, su calibración y manejo.

El mini-simulador ha de ser calibrado previo a la realización de la simulación de lluvia, para precisar la intensidad con la cuál se va a trabajar. De tal manera que en un tiempo de tres minutos se aplique un volumen de agua de 1125 cm^3 , para lograr obtener una intensidad de lluvia de 6 mm/min, que es la intensidad de trabajo del mini-simulador de lluvia, según las especificaciones del diseño, ya que para esta intensidad de 6 mm/min, se tiene que la energía cinética de la lluvia es de 35.4 J/mm (Kamphorst, 1987). En el anexo Nº 1, se presentan las especificaciones de diseño del mini-simulador de lluvia, en la Fig. Nº 1 se presentan las partes que componen al mini-simulador de lluvia. y en el Anexo Nº 2, se presentan los pesos a seguir para el llenado y calibración del depósito rociador, antes de realizar la simulación de lluvia.

3.1.2. Tratamientos de estudio.

El estudio comprende en sí la ejecución de la simulación de la lluvia, para obtener los escurrimientos superficiales y las pérdidas de suelos ocurridas para cuatro diferentes tratamientos generales, que para su estudio se formularon de la siguiente forma:

a1 b1 c1: Suelo desnudo en estado de humedad inicial seco.

Para este tratamiento no se le dió ninguna cobertura específica, sino que se dejó la superficie del suelo desprotegida. El estado de humedad inicial seco, se tiene al momento de iniciar la simulación de lluvia, y se refiere a que los suelos fueron secados al aire; a diferencia del llamado

"absolutamente seco" que tiene la capacidad de absorber los vapores de agua de la atmósfera y aumentar su humedad hasta el estado de "seco al aire", dicha humedad absorbida corresponde a la humedad higroscópica (Aidarov et al., 1985).

a1 b1 c2: Suelo desnudo en estado de humedad inicial a capacidad de campo (C. C.).

Para dar el contenido de humedad inicial a capacidad de campo (a 1/3 de atmósfera), fue necesario determinar dicha capacidad de campo para cada uno de los diferentes suelos en estudio. Además se determinó el contenido de humedad que presentaban los suelos secados al aire, por el método gravimétrico, mediante la siguiente fórmula:

$$\%H = \frac{Psh - Pss}{Pss} * 100$$

Donde:

% H = Porcentaje de humedad del suelo.

Psh = Peso de suelo húmedo.

Pss = Peso de suelo seco.

Posteriormente se realizó un balance de humedad del suelo, respecto a la capacidad de campo y el contenido de la humedad del suelo secado al aire, para determinar de esta manera el volumen de agua a aplicar al suelo en estudio y llevarlo hasta C.C.

Basados en el método gravimétrico se realizó el balance de humedad de la siguiente forma:

$$Pss = \frac{100 Ps Hi}{\% Hi + 100}$$

$$Ps Hcc = \frac{Pss (\% Hcc + 100)}{100}$$

$$V.A.A. = Ps Hcc - Ps Hi$$

Donde:

Pss = Peso de suelo seco.

Ps Hi = Peso del suelo secado al aire.

% Hi = Porcentaje de humedad del suelo secado al aire.

Ps Hcc = Peso de suelo a capacidad de campo.

- $\% H_{cc}$ = Porcentaje de humedad a capacidad de campo.
V. A. A. = Volumen de agua a aplicar al suelo secado al aire, para llevarlo a capacidad de campo.

a_i b₂ c₁: Suelos con rastrojos encima de la superficie del suelo en estado de humedad inicial seco.

Para la utilización de rastrojo se estimó una cantidad de 10 g de rastrojo de sorgo por parcela, en base a datos citados por FAO (1967), se tiene que 550 kg/ha de paja bien distribuida reducen la erosión a la cuarta parte, por lo que se estimó hipotéticamente la cantidad necesaria para reducir la erosión en un 100%, obteniéndose que 13.75 g cubren completamente la superficie del suelo de la parcela de 625 cm², por lo que se procedió a estimar la cantidad de rastrojo que cubriera sólo un 70 % de la superficie del suelo en la parcela, obteniéndose un valor de 9.625 g $\approx$ 10 g por parcela de 625 cm².

Este rastrojo fue secado bajo el sol y posteriormente fue cortado en trozos de aproximadamente 5 cm de longitud. Los 10 g de rastrojos fueron esparcidos uniformemente sobre la superficie del suelo.

a_i b₂ c₂: Suelo con rastrojo encima de la superficie del suelo en estado de humedad inicial a capacidad de campo.

En este tratamiento al igual que en el tratamiento a_i b₂ c₁, la cobertura de rastrojos se refiere a que se distribuyeron 10 g de rastrojos de sorgo sobre la superficie del suelo. Con respecto al contenido de humedad inicial (a capacidad de campo) se manejó al igual que lo señalado en el tratamiento a_i b₁ c₂.

En los cuatro tratamientos generales, en su conformación como tales, contemplan al suelo de una forma general, lo cual significa que el término suelo podrá ser interpretado como una variable dentro de estos cuatro tratamientos generales definidos anteriormente. Los suelos utilizados para este estudio corresponden a tres diferentes clases texturales (a_i), estos son suelo arcilloso, suelo franco arcillo-limoso y suelo franco-arenoso correspondientes a la capa superficial de las series de suelos de San Nicolás, Zambrano y Nejapa respectivamente. (Catastro, 1971 y 1978

A continuación se presenta una tabla con el análisis textural y de pH de las tres clases texturales de suelo, y en el Anexo Nº 3, se presenta una breve descripción de las series de suelos correspondientes a esta tres clases texturales de suelo.

Tabla Nº 1. Análisis textural y de pH.

Serie de suelo		San Nicolás	Zambrano	Nejapa
Textura		Arcilloso	Franco arcillo-limoso	Franco arenoso
% arcilla		78.36	30.34	12.82
% limo		15.88	66.26	25.26
% arena		5.79	3.40	61.90
pH	agua	7.0	7.2	6.9
	KCl	5.4	5.1	5.3
Capacidad de campo (% vol)		58.58	57.68	36.27

Estas tres clases texturales vienen a definir doce tratamientos específicos que se presentan formulados en la Tabla Nº 2, a los cuáles se les realizó seis repeticiones de simulación de lluvia por cada tratamiento específico.

Tabla Nº 2 Formulación de los tratamientos específicos.

Cobertura (bj)	1 DESNUDO		2 RASTROJO	
Humedad (Ck) Textura (aj)	1 seco	2 C. C.	1 seco	2. C. C. ^{1/}
1 Arcilloso	a1b1c1	a1b1c2	a1b2c1	a1b2c2
2 Arcillo-limoso	a2b1c1	a2b1c2	a2b2c1	a2b2c2
3 Franco-arenoso	a3b1c1	a3b1c2	a3b2c1	a3b2c2

1 / : capacidad de campo

3.1.3. Medición y Cálculo.

A partir de las tres clases texturales de suelo mencionadas anteriormente, se procedió a realizar la simulación de lluvia. Se midieron los escurrimientos superficiales, recolectando la solución de suelo más agua, esta solución se pesó y luego se sometió a un proceso de secado al horno a una temperatura de 105 ° C., hasta eliminar totalmente el agua de la solución. Una vez que se eliminó el agua, se pesó el suelo seco, dicho peso correspondería a la pérdida de suelo ocurrida en la parcela a la cual se le realizó la simulación de lluvia. El escurrimiento superficial se determinó por diferencia, entre el peso de la solución suelo más agua menos el peso de suelo seco que quedó como residuo del proceso de secado al horno de la solución de suelo más agua. Posteriormente se determinó la concentración de sedimentos del agua escurrida en la prueba de simulación de lluvia; que se define como la cantidad de suelo encontrada en un volumen de agua escurrida.

Tomando como referencia la pérdida de suelo ocurrida con el tratamiento a1b1c2, se determinaron los índices de erodabilidad (I. K.) de cada clase textural de suelo. Para la determinación de estos índices de erodabilidad (I. K.) se utilizó la Ecuación Universal de Pérdidas de Suelo (EUPS) formulada por Wischmeier et al. (1978), ya que según Kamphorst (1987), esta ecuación puede ser utilizada para la obtención de los índices de erodabilidad de los suelos, en trabajos realizados con el mini-simulador de

lluvia.

La ecuación consta de seis factores y es formulada matemáticamente de la siguiente manera:

$$A = R \cdot K \cdot L \cdot S \cdot C \cdot P.$$

Donde:

- A: es la pérdida de suelo promedio anual (en ton/ha/año)
- R: factor de erosividad de la lluvia (en MJ mm/ha h)
- K: factor de erodabilidad del suelo (en Ton ha h/ha MJ mm)
- L: factor longitud de pendiente (adimensional)
- S: factor gradiente de la pendiente (adimensional)
- C: factor manejo y cobertura vegetativa (adimensional)
- P: factor práctica de control de erosión (adimensional)

A continuación se define cada factor y la forma como fueron utilizados para efecto de cálculo haciendo uso de la EUPS en el presente estudio, a nivel de laboratorio.

- A:** es la pérdida de suelo que corresponde a la cantidad en peso seco de las partículas sólidas de suelo, recolectadas después de cada evento de simulación de lluvia, como resultado de un promedio de seis repeticiones por cada tratamiento específico (expresado en Ton/ha).
- R:** este parámetro evalúa la agresividad de la lluvia según la intensidad y la energía cinética del evento lluvioso, y su valor se calcula mediante la siguiente ecuación, propuesta por Wischmeier (1958).

$$R = \sum E I_{30}$$

Donde:

- E: energía total para un evento de precipitación
- I 30: intensidad máxima de la precipitación en 30 minutos

El valor calculado de R para este estudio se realizó como el producto de la energía cinética del evento expresada en MJ/ha y la intensidad de trabajo del mini-simulador expresada en mm/h. El valor de R (Mj mm/ha h) es un valor constante para todos los eventos de simulación de lluvia.

K: este parámetro es utilizado para indicar la susceptibilidad del suelo a la erosión hídrica; y es manejado como índice de erodabilidad (I. K.) en el presente estudio. El valor se obtiene a partir de las pérdidas de suelo recolectadas de los eventos de simulación de lluvia; y no cuantifica el grado de erodabilidad del suelo, por lo que no es un valor absoluto, sino que es un valor relativo. Este valor reflejará la susceptibilidad de los suelos a la erosión hídrica, mediante la comparación de los diferentes índices de erodabilidad (I. K.), que indicarán, cuál suelo es más o menos susceptible a la erosión hídrica. Para la obtención de valores índices de erodabilidad a través de simulación de lluvia, es necesario que el suelo desnudo se encuentre bajo un estado de humedad inicial a capacidad de campo ó cercano a éste (Kamphorst, 1987). Prat (1988) menciona que es necesario tener una referencia para el análisis de los estudios. En el caso general será el suelo desnudo a capacidad de campo que no recibió ningún tipo de preparación, el que será utilizado como referencia de erosión máxima.

Para este estudio se tomó como punto de referencia la pérdida de suelo obtenida con el tratamiento a11c2. (suelo desnudo en estado de humedad inicial a capacidad de campo), las cuales se utilizarán para calcular los valores relativos del factor K (índice de erodabilidad).

Su cálculo se realizará a partir de la EUPS de la siguiente forma:

$$K = \frac{A}{R \cdot L \cdot S \cdot C \cdot P} \text{ (ton ha h/ha MJ mm)}$$

L: es el factor longitud de la pendiente; siendo dicha longitud la distancia horizontal que separa la proyección del punto donde se origina el escurrimiento superficial y el punto donde la pendiente decrece y permite la deposición de sedimentos ó sea el punto donde el agua de escurrimiento entra a un canal ó depósito recolector ó cualquier vía fluvial definida.

Este factor se calculó mediante la siguiente fórmula:

$$L = (X/22.13)^m$$

Donde:

X = longitud de pendiente expresada en metros.

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

El exponente "m" toma valores que oscilan entre 0.2 y 0.6 en función de la pendiente, como lo refleja la siguiente tabla.

Tabla N°3 Valores de "m" para determinación del factor L

m	% de pendiente
0.2	< 1
0.3	≥ 1 y < 3
0.4	≥ 3 y < 5
0.5	≥ 5 y < 10
0.6	≥ 10 y < 50

(Fuente: Hudson et al., 1959 para LS bajo condiciones tropicales)

S: factor grado de pendiente, se define como el gradiente expresado en unidades de ascenso ó caída vertical por unidad de distancia horizontal, ó por cien unidades de distancia horizontal cuando la pendiente es expresada en porcentaje. El factor S se calculó a través de la siguiente fórmula:

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

Donde:

P: es la caída vertical por 100 unidades a lo largo de la superficie del terreno.

C: factor de cobertura y manejo de cultivo. Este factor es la relación resultante de comparar las pérdidas de suelos ocurridas en áreas con cobertura vegetal protectora y varias prácticas de manejo con las correspondientes pérdidas en la misma área bajo continuo barbecho y cultivada en el sentido de la pendiente a intervalos regulares (Wischmeier et al, 1978). Según Kirkby et al. (1984), cuando el suelo no presenta ningún tipo de cobertura y manejo de cultivo, C toma un valor correspondiente a la unidad. Por lo que el valor utilizado de C para

efecto de cálculo cuando se trabaje con los tratamientos aib1c1 y aib1c2 será la unidad. Y al trabajar con los tratamientos aib2c1 y aib2c2 el cálculo de C se realizará en base a la definición, de la siguiente forma:

$$C = \frac{A \text{ aib2c2}}{A \text{ aib1c2}}$$

Donde:

A aib2c2 = pérdida de suelo obtenida con el tratamiento aib2c2.

A aib1c2 = pérdida de suelo obtenida con el tratamiento aib1c2.

P: factor práctica de control de erosión. El factor P indica la relación entre la pérdida de suelo que resultaría en un terreno arado y sembrado en dirección de la pendiente y aquella que ocurriría si se tuviera en consideración determinada práctica para el control de la erosión. El factor P toma un valor máximo de uno (1.00), el cual tiende a ser reducido por las prácticas de conservación de suelo que se implementen.

En este estudio se tomó la unidad como valor del factor P debido a que no se realizaron prácticas de conservación

3.1.4. Diseño Experimental.

En el acápite 3.1.2. se definieron cuatro tratamientos generales, observese que estos cuatro tratamientos están constituidos por: el suelo, la cobertura vegetal y la humedad como factores de variación. Por lo que para el análisis estadístico de cada uno de estos factores que constituyen a dichos tratamientos se realizó un análisis de varianza en un diseño experimental específico.

El diseño fue seleccionado en base a que se tenían tres factores con

diferentes niveles cada uno, los cuales son especificados a continuación:

Factor A: clase textural

Niveles del factor A (a_i):

a_1 = arcilloso

a_2 = franco arcillo-limoso

a_3 = franco arenoso

Factor B: tipo de cobertura

Niveles del factor B (b_j):

b_1 = desnudo

b_2 = con rastros

Factor C: grado de humedad

Niveles del factor C (c_k):

c_1 = en estado de humedad inicial seco

c_2 = en estado de humedad inicial a
capacidad de campo

Además se consideró que la investigación fue desarrollada en condiciones de laboratorio o sea bajo condiciones controladas que permiten reducir grandemente el error experimental. El suelo fue homogenizado al igual que el rastrojo, el contenido de humedad inicial fue controlado, se utilizó la misma intensidad de lluvia en todas las repeticiones y el procedimiento de recolección de la solución de suelo más agua se realizó uniformemente para todas las repeticiones. Por ello se decidió hacer un arreglo trifactorial en diseño completamente al azar (D. C. A.), para realizar el análisis de varianza. Además se empleó

la técnica de separación de medias para comparaciones de rangos múltiples de Duncan. Lo cual nos permitió inferir sobre la influencia de la textura, cobertura y humedad inicial sobre el escurrimiento superficial, las pérdidas de suelo y la concentración de sedimentos.

3.2. Etapa de campo.

3.2.1. Ubicación y descripción del sitio de estudio.

El estudio fue realizado en la finca "El Plantel" propiedad del I. S. C. A. La cual se encuentra localizada en el kilómetro 42 de la carretera Tipitapa-Masaya. Las coordenadas geográficas la ubican entre los 12°06'24" y los 12°07'30" de Latitud Norte y entre los 86°04'46" y los 86°05'27" de Longitud Oeste.

Los suelos de esta zona pertenecen a la serie Zambrano (CATASTRO,1971), que consisten de suelos profundos a superficiales, bien drenados, con subsuelo arcilloso y que está sobre un estrato endurecido continuo pero fragmentado (talpetate). Estos suelos se han desarrollado de cenizas volcánicas que descansan sobre arcillas, toba parcialmente meteorizada ó arena y escoria cementada.

El criterio más importante para determinar ó seleccionar los sitios de estudio (sobre los cuales se realizarán las mediciones) es un criterio edafológico. Para ello se necesita tener un mapa de suelo ó por lo menos hacer un reconocimiento de la zona a estudiar, realizado por un edafólogo, con el fin de seleccionar los suelos más representativos ó los que tiene un interés particular (Prat,1988). Para este estudio se tomó como referencia el mapa de suelo y el mapa de riesgos de erosión elaborados por Zelaya (1989 en preparación) y Somarriba (1989), respectivamente, de la finca "El Plantel". Se consideró del mapa de suelos en conjunto con el mapa de riesgos de erosión, estudiar los suelos que presentan alto riesgo de erosión. Para la realización de este estudio se consideró: la clase textural de los suelos, la cobertura (suelo desnudo) y el estado de humedad (suelo a capacidad de campo), lo cual define a los tratamientos (ver acápite 3.2.2.). Las clases texturales de suelo corresponden a las unidades cartográficas de suelo (Zelaya, 1989 en preparación), que se describen en el anexo Nº 4.

Estas unidades de suelo fueron ubicadas en el terreno para llevar a cabo la simulación de lluvia en el sitio donde Zelaya (1989 en preparación) realizó las calicatas para la descripción de perfiles. Parte del análisis físico-químico de los suelos en estudio, correspondiente a las unidades de suelo, descritas en el Anexo Nº 4 se presentan en la siguiente tabla.

TABLA ANALISIS FISICO-QUIMICO DE LOS SUELOS DE ESTUDIO
(Zelaya, 1969)

Unidad cartográfica		Dc <u>B544</u> Bte-	Ls <u>D4-5</u> Ctee	Le <u>E2-6</u> DTE
Texture		arcillo-limoso	franco arcillo-limoso	Franco
Profundidad		0-25	0-12	0-13
% Arena		15	18	47
% Limo		42	48	39
% Arcilla		43	34	14
Dap (g/cm ³)		1.18	0.94	0.99
Porosidad (%vol)		56	65	65
1/3 atm (%)		49	51	37
15 atm (%)		28	22	16
pH	Agua 1:2.5	6.8	7.0	7.1
	KCl 1:2.5	5.1	5.0	5.2
Materia Orgánica(%)		2.7	6.8	4.7

3.2.2. Tratamiento en estudio.

El tratamiento considerado para la etapa de campo es el tratamiento general aibic2 (suelo desnudo en estado de humedad inicial a capacidad de campo) utilizado como uno de los tratamientos en la etapa de laboratorio de este estudio (vease 3.1.2.).

3.2.3. Preparación de la parcela.

El diseño de fabricación del mini-simulador de lluvia limita el tener que utilizar una pendiente del 20 % para la parcela de estudio, por lo que para dar la pendiente correspondiente y poder llevar al suelo hasta su capacidad de campo, se siguió el siguiente procedimiento:

A- Primeramente con una pala se modifica la pendiente original del

terreno hasta obtener una pendiente igual a 20%, posteriormente se delimita el área para ser usada como parcela en la simulación de lluvia. El área de la parcela queda limitada por un canalón que tiene 25 cm de largo por 25 cm de ancho y 5 cm de profundidad, el cual se introduce en el terreno de manera que el terreno conserve el 20 % de pendiente. Posteriormente se procede a darle la estructura original del suelo con una navaja. Esto se logra introduciendo la navaja a una profundidad de 0.5 cm aproximadamente en la superficie del suelo que fue perturbada con la pala. Cuando se ha introducido la navaja se aplica una ligera presión para separar el suelo perturbado y de esta forma obtener la porosidad y la estructura original en la parte superficial del suelo.

La partículas que quedan sueltas sobre la superficie ya preparada deben de ser expulsadas fuera de la parcela con un aspirador o un soplador, de manera que esta operación no perturbe los poros de la superficie del suelo, y para que estas partículas no influyan sobre las pérdidas de suelo que se obtengan una vez realizada la simulación de lluvia.

B- Para llevar el suelo hasta capacidad de campo se determinó con anticipación esta constante de humedad del suelo y luego en una parcela auxiliar se determinó el contenido de humedad presente. Posteriormente a la parcela se le aplicó una cantidad de agua para lograr llevar el contenido de humedad del suelo a capacidad de campo, calculado por la siguiente fórmula:

$$W. A. A. = (C. C. - H_p) \text{ Dep. prof. a.}$$

Donde:

W. A. A. = volumen de agua a aplicar para llevar al suelo a capacidad de campo (expresado en cm^3).

C. C. = constante de humedad del suelo correspondiente a la capacidad de campo (expresada en porcentaje).

H_p = contenido de humedad del suelo al momento de realizar la simulación de la lluvia (expresada en porcentaje).

Dep = densidad aparente del suelo (expresada en g/cm^3)

prof = profundidad considerada de la parcela en estudio. En este caso corresponde a la profundidad del canalón

(expresada en m).

a = área de la parcela en estudio (expresada en cm^2).

3.2.4. Medición y cálculo.

Definidas las unidades de suelo y la clase textural correspondiente a cada unidad de suelo mencionadas en el acápite 3.2.1., se procedió a realizar las simulaciones de lluvia. Se midieron los escurrimientos, las pérdidas de suelo y se calculó la concentración de sedimentos. La metodología empleada para la obtención del escurrimiento superficial, las pérdidas de suelo y la determinación de la concentración de sedimentos, es la misma utilizada en la etapa de laboratorio (Vease acápite 3.1.3.).

Y para ello se realizaron seis repeticiones por cada tratamiento. A partir de las pérdidas de suelo se procedió a determinar los índices de erodabilidad (I. K.) de cada clase textural de suelo..

Para determinar los índices de erodabilidad (I. K.) se utilizó la Ecuación Universal de Pérdidas de Suelo (E. U.P.S.) que fue definida matemáticamente en el acápite 3.1.3. de este trabajo.

A continuación se define la forma como fueron utilizados los factores de la E. U. P. S. , para efecto de cálculo a nivel de campo.

Los factores R, K, L, S, C y P de la Ecuación Universal de Pérdidas de Suelo se definen de la misma forma como fueron descritos anteriormente en el acápite 3.1.3.

El factor C (factor de cobertura y manejo de cultivo), este factor se manejó según Kirkby et al., (1984): cuando el suelo no presenta ningún tipo de cobertura y manejo de cultivo, C toma un valor correspondiente a la unidad; por lo que para introducirlo en el cálculo del índice de erodabilidad este valor se tomó como la unidad.

3.2.5. Diseño Experimental.

En el estudio desarrollado a nivel de campo, el único factor que varía con respecto al tratamiento general aibic2 descrito en el acápite 3.1.2 es. (suelo desnudo en estado de humedad inicial a capacidad de campo) en el suelo o sea la clase textural que define el tratamiento específico..En la tabla Nº 4 se presentó parte del análisis físico-químico de las clases texturales

de estudio, correspondientes a las unidades cartográficas descritas en el Anexo Nº4. En esta tabla se tienen tres clases texturales de suelo que son: Arcillo-limoso, Franco arcillo-limoso y Franco, los cuales define los tres tratamientos específicos desarrollados a nivel de campo.

Estos tres tratamientos se formularon de la siguiente forma:

a1b1c2: Suelo arcillo-limoso, desnudo en estado de humedad inicial a capacidad de campo.

a2b1c2: Suelo Franco arcillo-limoso, desnudo en estado de humedad inicial a capacidad de campo.

a3b1c2: Suelo Franco, desnudo en estado de humedad inicial a capacidad de campo.

Considerando que las condiciones a nivel de campo fueron controladas (viento, humedad inicial a capacidad de campo, pendiente, intensidad de la lluvia, cobertura vegetal); se decidió realizar el análisis estadístico en un Diseño Completamente al Azar (D. C. A.). Se realizó el análisis de varianza y además se utilizó la técnica de separación de medias para rangos múltiples de Duncan. Lo cual permitió inferir sobre la influencia de la textura sobre el escurrimiento superficial, las pérdidas de suelo y la concentración de sedimentos.

IV Resultados y discusión.

4.1. Etapa de laboratorio.

4.1.1. Determinación del escurrimiento superficial, las pérdidas de suelo y la concentración de sedimento.

Para esta etapa de laboratorio se constituyeron un total de doce tratamientos específicos; y los resultados de escurrimiento superficial, pérdida de suelo y concentración de sedimentos que se presentan a continuación en la Tabla Nº 5, son el producto de un promedio de seis repeticiones de simulaciones de lluvia realizadas a cada tratamiento

Tabla Nº 5. Tratamiento de estudio y resultados correspondientes de escurrimiento superficial, pérdidas de suelo y concentración de sedimentos.

		Escurrecimiento superficial (ml)		Pérdidas de suelo(g)		Concentración de sedimentos (g/l)	
		SECO	C. C.	SECO	C. C.	SECO	C. C.
	ARCILLOSO	561.71	930.23	17.39	19.90	31.01	21.37
	FRANCO ARCILLO LIMOSO	324.45	746.29	11.51	32.04	35.27	42.73
	FRANCO ARENOSO	175.50	585.00	9.58	20.06	56.77	33.71
	ARCILLOSO	692.91	913.74	25.64	33.73	39.91	36.72
	FRANCO ARCILLO LIMOSO	406.98	780.78	19.63	62.71	47.95	80.33
	FRANCO ARENOSO	256.54	637.70	18.12	59.26	71.49	92.74

4.1.2. Determinación de los factores constantes de la E. U. P. S.

Dadas las especificaciones de diseño del mini-simulador de lluvia presentadas en el Anexo 1, los factores R, L,S,y P de la E. U.P. S. se consideraron constantes en el desarrollo de las simulaciones de lluvia, y los cálculos respectivos de dichos factores se realizó según la metodología que se describe en el acápite 3.1.3.

$$R = 36702.72 \text{ MJ mm /ha h}$$

$$L = 0.068 \text{ (adimensional)}$$

$S = 3.573$ (adimensional)

$P = 1.00$ (adimensional)

Para el factor f se le tomo como la unidad debido a que no existe practica para el control de erosion .

4.1.3. Determinación de los índices de erodabilidad (I. K.).

Estos índices de erodabilidad se obtuvieron utilizando la E. U. P. S. como se definió en el acápite 3.1.3. y haciendo uso de los valores promedios de pérdidas de suelo obtenidas de los tratamientos específicos a1b1c2, a2b1c2 y a3b1c2 definidos en el acápite 3.1.4. La siguiente tabla muestra estos índices.

Tabla Nº 6. Indices de erodabilidad (I. K.).

Clase Textural	I. K.
arcilloso	0.00061
Franco arcillo-limoso	0.00113
Franco arenoso	0.00107

Estos índices de erodabilidad (I. K.) relacionan la susceptibilidad de los suelos a la erosión hídrica con la clase textural.

Según Wischmeier y Mannering (1969), citado por Kirkby et al. (1984), la erosión de los terrenos arables ocurre a menudo sobre los suelos arenosos y limosos. Con menos frecuencia se ha notado que algunas arcillas y suelos arcillosos también son erosionables según Bennett (1926); Ripley y col. (1961), citado por Kirkby et al. (1984).

Según los índices obtenidos; el suelo franco arcillo limoso es el más susceptible a la erosión hídrica que el suelo Franco arenoso y que el arcilloso.

En la tabla Nº 1 se puede observar que dicha susceptibilidad puede estar siendo determinada por el alto porcentaje de limo que presenta este suelo. *Por otro lado el suelo Franco arenoso es más susceptible que el arcilloso. En la tabla Nº 1 se observa que el suelo arcilloso contiene 78.36 % de arcilla; y se sabe que las particulas de arcillas presentan gran fuerza de cohesion, la cual ofrce una gran resisitencia ala fuerza erosiva del agua*

4.1.4. Determinación del factor de cobertura vegetal y manejo de cultivo (C).

El valor del factor C fue obtenido de la siguiente manera:

Para los suelos que no presentaban cobertura de rastrojo en su superficie (suelo desnudo) el valor de $C = 1.00$

Para los suelos que presentaban 10 g de rastrojos de sorgo como cobertura superficial, el valor C se calculó según la definición del acápite 3.1.3. y se encontró el siguiente resultado.

Para el suelo arcilloso el valor de $C = 0.58$

Para el suelo Franco arcillo-limoso el valor de $C = 0.51$

Para el suelo Franco arenoso el valor de $C = 0.34$

Según los resultados obtenidos de los tratamientos en los que se utilizaron 10 g de rastrojos de sorgo, los valores de C difieren para los tres tipos de suelo utilizados en este estudio. Estos resultados no ofrecen mucha confiabilidad ya que el rastrojo utilizado en las parcelas, no es representativo respecto al rastrojo que se deja en el campo después de una cosecha. Wischmeier y Smith (1978) señalan y desarrollan un sistema detallado para definir diferentes estadios en la evolución de los cultivos en relación al factor C, con tablas y gráficos complejos, de tal manera que deja claro que el factor C es un factor difícil de evaluar.

Donahue et al (1983), señalan también que el factor C es muy complicada su evaluación, a causa del amplio rango de posibilidades en cuanto a cobertura protectora, manejo y diversas formas en las cuales los residuos de los cultivos pueden ser dejados sobre el suelo. Cabe señalar además, que el mini-simulador fue diseñado específicamente para realizar estudios sobre índices de erodabilidad (Kamphorst, 1987).

4.1.5. Separación de medias usando Duncan con un nivel de significancia de 0.05

A.- Para la influencia de la textura del suelo, cobertura vegetal y humedad del suelo sobre el escurrimiento superficial.

a) Influencia de la textura.

Niveles de textura (ai)	Promedio	Duncan
Franco arenoso (a3)	413.69	a
Franco arcillo-limoso (a2)	563.35	b
Arcilloso (a1)	774.65	c

La prueba de separación de medias demuestra que existen diferencias significativas entre las tres clases texturales con respecto al escurrimiento superficial. El escurrimiento superficial es mayor en el suelo arcilloso y menor en el franco arenoso. Esto indica que en el suelo franco arenoso se presenta una mayor infiltración del agua. Cabe señalar que el suelo arcilloso presenta 79.36 % de arcilla montmorillonita; este tipo de arcilla presenta un alto coeficiente de dilatación, lo que permite que en contacto con el agua se expanda y cierre en gran parte los espacios porosos y que aumente de esta forma el área de contacto de la superficie del suelo; aumentado así el escurrimiento superficial en este suelo

b) Influencia de la cobertura.

Niveles de cobertura (bj)	Promedio	Duncan
con rastrojo (b2)	553.02	a
desnudo (b1)	614.78	b

Según la separación de medias, existen diferencias significativas entre ambos niveles de cobertura con respecto al escurrimiento superficial. Se observa que en los suelos tratados con rastrojos se producen los menores escurrimientos en comparación con los suelos desnudos. Por lo que es evidente que la cobertura actúa de obstáculo para la libre circulación del agua de escurrimiento. Es sea reduce la velocidad del escurrimiento superficial, por lo que permite un mayor tiempo de oportunidad de infiltración del agua que circula por la superficie del suelo.

c) Influencia de la humedad.

Niveles de humedad (ck)	Promedio	Duncan
seco (c1)	403.01	a
a capacidad de campo (c2)	764.78	b

La separación de medias demuestra que en los tratamientos donde la

única variable sea el contenido de humedad inicial; se obtendrán los menores escurrimientos en aquellos donde el contenido de humedad inicial sea el estado seco, y los mayores escurrimientos serán presentados por los suelos que estén a capacidad de campo. Esto se explica debido a que el suelo cuando se encuentra en estado de humedad inicial seco, está en capacidad de absorber rápidamente una gran cantidad de agua, que cuando se encuentre a capacidad de campo. Esto se debe a que en estado seco los poros del suelo están ocupados principalmente por aire, lo que permite que el agua se infiltre rápidamente. Pero cuando el suelo está a capacidad de campo los poros ya no solo contienen aire, sino que además contienen agua, esto hace que el espacio ocupado por el aire sea más reducido y por ello se vea más reducida la capacidad de absorción del suelo cuando éste se encuentra en ese estado de humedad.

Esto concuerda con los estudios realizados por Kostikov sobre velocidad de infiltración citado por Aguilera et al., (1980) y estudios realizados por Prat (1986), quienes mencionan que el suelo presenta una mayor velocidad de infiltración cuando éste se encuentra seco, pero disminuye a medida que los poros del suelo están siendo ocupados por el agua.

B.- Para la influencia de la textura del suelo, cobertura vegetal y humedad del suelo sobre las pérdidas de suelo.

a) Influencia de la textura :

Niveles de textura (ai)	Promedio	Duncan
Arcilloso (a1)	24.17	a
Franco arenoso (a3)	26.75	a
Franco arcillo-limoso (a2)	31.09	b

La separación de medias demuestra que las mayores pérdidas se obtuvieron en el suelo Franco arcillo-limoso y que texturalmente no existen diferencias significativas entre las pérdidas obtenidas en los suelos arcilloso y el Franco arenoso.

Puede observarse en la tabla Nº 1 que el suelo Franco arcillo-limoso,

presenta el más alto contenido de limo, lo que puede estar determinando que las mayores pérdidas ocurran en este suelo.

b) Influencia de la cobertura :

Niveles de cobertura (bj)	Promedio	Duncan
con rastrojos (b2)	18.15	a
Desnudo (b1)	36.51	b

Existen diferencias significativas entre los dos niveles de cobertura con respecto a las pérdidas de suelo. El suelo tratado con rastrojos presenta las menores pérdidas de suelo, debido a que el rastrojo; como fue señalado en el análisis de la influencia de la cobertura sobre el escurrimiento superficial, constituye un obstáculo para el escurrimiento, disminuyendo su velocidad. Por lo que el poder abrasivo del agua disminuye, reduciendo significativamente el arrastre de las partículas más erodables.

c) Influencia de la humedad :

Niveles de humedad (ck)	Promedio	Duncan
seco (c1)	16.98	a
a capacidad de campo (c2)	37.69	b

Existen diferencias significativas entre los dos niveles de humedad con respecto a las pérdidas de suelo. Se obtuvieron que las mayores pérdidas ocurren en los suelos que presentan un estado de humedad inicial a capacidad de campo. Esto se debe a que cuando el suelo se encuentra a capacidad de campo alcanza más rápidamente la estabilidad del flujo, el cual actúa durante mayor tiempo sobre el suelo que está a capacidad de campo.

C.- Para la influencia de la textura del suelo, cobertura vegetal y humedad del suelo sobre la concentración de sedimentos.

Esta prueba de separación de medias que se presenta a continuación, para los tres factores que se están evaluando, no permite poder definir exactamente la influencia que tienen la textura del suelo, la cobertura vegetal y la humedad del suelo sobre la concentración de sedimentos.

Esto se debe a que la concentración de sedimentos depende de las pérdidas de suelo y del escurrimiento superficial; y a su vez estos

parámetros están influenciados por la textura, cobertura y humedad de forma no muy similar. Por lo que a continuación se presentan las separaciones de medias, pero que solamente indicarán en qué tratamiento se produce una mayor ó menor concentración de sedimentos.

a) Influencia de la textura :

Niveles de textura (ai)	Promedio	Duncan
Arcilloso (a1)	31.50	a
Franco arcillo-limoso (a2)	51.14	b
Franco arenoso (a3)	63.68	c

Existen diferencias significativas entre las tres clases texturales con respecto a la concentración de sedimentos. Presentándose la mayor concentración de sedimentos en el suelo Franco arenoso y la menor en el suelo arcilloso.

b) Influencia de la cobertura :

Niveles de cobertura (bj)	Promedio	Duncan
con rastrojos (b2)	36.52	a
Desnudo (b1)	61.02	b

La separación de medias demuestra que los suelos con rastrojos presentan una baja concentración de sedimentos. Presentándose la mayor concentración de sedimentos en los suelos desnudos

c) Influencia de la humedad :

Niveles de humedad (ck)	Promedio	Duncan
seco (c1)	46.56	a
a capacidad de campo (c2)	50.99	b

Existen diferencias significativas entre los dos niveles de humedad con respecto a la concentración de sedimentos. Produciéndose una mayor concentración en el suelo que se encuentra a capacidad de campo.

4.2. Etapas de campo.

4.2.1. Determinación del escurrimiento superficial, las pérdidas de suelo y la concentración de sedimentos.

En esta etapa de campo se constituyeron un total de tres tratamientos específicos; y los resultados de escurrimiento superficial, pérdidas de suelo y concentración de sedimentos que se presentan a continuación en la Tabla Nº 7 son producto de un promedio de seis repeticiones para cada tratamiento.

Tabla Nº 7. Tratamiento de estudio y resultados correspondientes de, escurrimiento superficial, pérdida de suelo y concentración de sedimentos.

		CAPACIDAD DE CAMPO		
TEXTURA		Escurrimiento superficial (ml)	Pérdidas de suelo(g)	Concentración de sedimentos (g/l)
DESNUDO	ARCILLO-LIMOSO	912.85	42.98	47.24
	FRANCO ARCILLO-LIMOSO	749.37	65.58	89.80
	FRANCO	717.35	39.56	55.23

4.2.2. Determinación de los factores constantes de la E. U. P. S.

Dadas las especificaciones de diseño del mini-simulador de lluvia presentadas en el Anexo 1, los factores R, L,S,y P de la E. U.P. S. se consideraron constantes en el desarrollo de las simulaciones de lluvia, y los cálculos respectivos de dichos factores se realizaron según la metodología que se describe en el acápite 3.1.3.

$$R = 36702.72 \text{ MJ mm /ha h}$$

$$L = 0.068 \text{ (adimensional)}$$

$$S = 3.573 \text{ (adimensional)}$$

$$P = 1.00 \text{ (adimensional)}$$

$$C = 1.00 \text{ (adimensional)}.$$

4.2.3. Determinación de los índices de erodabilidad (i. K.).

Estos índices de erodabilidad se obtuvieron utilizando la E. U. P. S. como se definió en el acápite 3.1.3. y haciendo uso de los valores promedios de pérdidas de suelo obtenidas de los tratamientos específicos a1b1c2, a2b1c2 y a3b1c2 definidos en el acápite 3.1.4. La siguiente tabla muestra estos índices.

Tabla Nº 8. Índices de erodabilidad (I. K.).

Clase Textural	I.K.
arcillo-limoso	0.00077
Franco arcillo-limoso	0.00118
Franco	0.00071

Según estos índices de erodabilidad, el suelo más susceptible a la erosión es el franco arcillo-limoso, siguiendo en orden descendente de susceptibilidad el suelo arcillo-limoso y menos susceptible el suelo Franco.

En los resultados de laboratorio sobre los índices de erodabilidad se mencionó que la susceptibilidad de esos suelos está siendo afectada por el contenido de limo. Se observa que según la Tabla Nº 4 puede hacerse el mismo comentario hecho para los I. K. de laboratorio, a los I. K. obtenidos para las condiciones de campo. Esto es que la susceptibilidad de los suelos puede estar influenciada en gran medida por el porcentaje de limo presente en los suelos.

4.2.4. Separación de media usando Duncan con un nivel de significancia de 0.05

A.- Para la influencia de la textura del suelo sobre el escurrimiento superficial.

Tratamiento textural (ai)	Promedio	Duncan
Franco	717.35	a
Franco arcillo-limoso	749.37	a
Arcillo-limoso	912.85	b

La prueba de separación de medias, indica que no existen diferencias significativas entre el escurrimiento presentado por el suelo franco y el franco arcillo-limoso; y que sí existen diferencias significativas entre estos dos suelos y el suelo arcillo limoso. Presentando el mayor

escurrimiento al suelo arcillo-limoso.

En la Tabla Nº 4 se observa que el suelo arcillo limoso presenta el más alto porcentaje de arcilla y el contenido más bajo de materia orgánica con respecto a los otros dos suelos.

Se sabe que las arcillas son las partículas texturalmente de menor diámetro, lo que implica que la superficie de contacto de los suelos arcillosos sea mayor; por lo que esto impide que el agua pueda infiltrar rápidamente. Produciéndose un mayor escurrimiento superficial. Por otro lado se sabe que la materia orgánica presenta una alta capacidad de absorción y en este suelo arcillo limoso el contenido de materia orgánica es relativamente el más bajo, en comparación con el contenido de los otros dos suelos; por lo que la absorción de agua se ve disminuida, contribuyendo de esta forma a que se de un mayor escurrimiento superficial.

B.- Para la influencia de la textura del suelo sobre las pérdidas de suelo.

Tratamiento textural (ai)	Promedio	Duncan
Franco	39.56	a
Arcillo-limoso	42.98	a
Franco arcillo-limoso	65.58	b

La prueba de separación de medias demuestra que no existen diferencias significativas entre las pérdidas de suelo ocurridas en el suelo franco y el arcillo-limoso; y que sí existen diferencias significativas entre estos dos suelos y el suelo franco arcillo-limoso. Produciéndose las mayores pérdidas en el suelo franco arcillo-limoso.

En la Tabla Nº 4 se observa que el factor que puede estar determinando estas pérdidas es el alto contenido de limo; lo que da lugar a una poca estabilidad de los agregados, facilitando la disgregación de estos por el agua. Esto favorece el arrastre de las partículas cuando se produce el escurrimiento superficial. Este suelo franco arcillo-limoso presenta el más alto contenido de materia orgánica, pero no por ello, las pérdidas de suelo se ven reducidas significativamente.

Se puede observar que con respecto al pH, la variación de éste en los tres suelos es mínima, por lo que no es un factor que este determinando las

pérdidas de suelo.

C.- Para la influencia de la textura del suelo sobre la concentración de sedimentos.

Tratamiento textural (ai)	Promedio	Duncan
Arcillo-limoso	47.24	a
Franco	55.23	a
Franco arcillo-limoso	89.80	b

Según la separación de medias realizadas, no existen diferencias significativas entre las concentraciones de sedimentos presentadas en el suelo arcillo-limoso y el franco; pero si existen diferencias significativas entre la concentración de sedimentos de estos dos suelos y la del suelo franco arcillo-limoso.

La concentración de sedimentos es un parámetro que relaciona matemáticamente la cantidad de suelo contenido en un volumen determinado de agua. Por lo que el valor de este parámetro depende de las pérdidas de suelo y el escurrimiento superficial. Lo cual implica cuantitativamente que a mayores pérdidas y menor escurrimiento, la concentración de sedimento será mayor. De igual manera para menores pérdidas y mayor escurrimiento se obtiene que la concentración de sedimentos es menor.

V.Conclusiones

1.- Es posible realizar simulaciones de lluvia, haciendo uso del mini-simulador de lluvia de Kamphorst, para medir pérdidas de suelo y determinar índices de erodabilidad a nivel de laboratorio y a nivel de campo. Los resultados demuestran diferencias entre los suelos. Esta técnica de simulación de lluvia promete tener mucho futuro en Nicaragua donde no existen datos sobre pérdidas de suelo y erodabilidad.

2.- Gracias al fácil manejo del aparato y la posibilidad que ofrece de ejecutar muchas mediciones, se concluye que haciendo un buen manejo del aparato, se puede detectar rápidamente y con precisión el papel que tienen algunas propiedades del suelo sobre el escurrimiento superficial y las pérdidas de suelo.

3.- Según el análisis estadístico realizado se concluye que los suelos que presentan el mayor porcentaje de arcilla, presentan los mayores escurrimientos.

4.- Se observa tanto a nivel de laboratorio como a nivel de campo que el porcentaje de limo presentó una relación directa con las pérdidas de suelo. Los suelos que tenían un mayor contenido de limo presentaron las mayores pérdidas de suelo.

5.- El contenido de humedad inicial influye en proporción directa sobre el escurrimiento superficial. A un mayor grado de humedad en el suelo se produjo un mayor escurrimiento y una mayor pérdida de suelo.

6.- El tipo de cobertura influye inversamente en volumen de escurrimiento superficial y la cantidad de pérdida de suelo. Un suelo con cobertura de rastrojo disminuyó evidentemente el escurrimiento superficial y la pérdida de suelo que las ocurridas en un suelo desnudo.

7.- La concentración de sedimentos es un parámetro que relaciona las pérdidas de suelo y el escurrimiento superficial. Por lo que no se puede determinar la influencia de la textura, la cobertura vegetal y la humedad del suelo sobre la concentración de sedimentos.

8.- Los índices de erodabilidad (I. K.) sólo pueden ser utilizados para comparar y jerarquizar la susceptibilidad de los suelos a la erosión hídrica.

9.- El factor cobertura vegetal y práctica de manejo (C), no es posible determinar su valor con exactitud a nivel de laboratorio, ya que las pruebas son realizadas sobre los suelos alterados estructuralmente.

VI Recomendaciones.

1.- Dado que en el presente trabajo se realizó estudio sobre tres tipos de suelo a nivel de laboratorio y a nivel de campo, se recomienda realizar estudios con un mayor número de suelos y determinar el papel que tiene la textura en las pérdidas de suelo por erosión hídrica.

2.- En el presente estudio se determinaron índices de erodabilidad haciendo uso de la Ecuación Universal de Pérdidas de Suelo. Por lo que se recomienda determinar para varios suelos, los valores del factor erodabilidad del suelo (K), utilizando la metodología de parcelas de escurrimiento y el nomograma de Wischmeier. A la par, determinar los índices de erodabilidad de esos mismos suelos haciendo uso de la técnica de la simulación de lluvia; de manera que permita realizar una correlación entre los valores del factor erodabilidad y los índices de erodabilidad.

3.- Se recomienda realizar estudios de cobertura, cuya unidad de medida no sea en unidades de peso, sino en porcentaje de área protegida del impacto de las gotas de lluvia; a nivel de laboratorio y de campo.

4.- Se recomienda realizar estudios de la influencia del contenido de humedad inicial sobre el escurrimiento superficial y las pérdidas de suelo; considerando un mayor número de niveles del grado de humedad.

5.- Se recomienda realizar estudios sobre la influencia de la materia orgánica sobre el escurrimiento y las pérdidas de suelo.

6.- Dado que para determinar índices de erodabilidad se requiere de pérdidas de suelo obtenidas en suelos desnudos y a capacidad de campo, se recomienda realizar las simulaciones de lluvia en el verano, cuando las investigaciones se realicen en el campo. Esto facilita el manejo de la humedad del suelo.

7.- Debido a que las diferencias que presenta el suelo en su estado natural con respecto a un suelo perturbado estructuralmente, se recomienda realizar estudios a nivel de campo y de laboratorio, para determinar la influencia del grado de perturbación del suelo sobre los índices de erodabilidad.

8.- Considerando que al efectuar seis repeticiones de simulación de lluvia, no permite determinar el grado de equivocación cometido durante la investigación; se recomienda un número entre 8 y 10 repeticiones por tratamiento específico, para futuras investigaciones.

VII Bibliografía

- 1.- Aguilera Contreras M. & R. Martinez Elizondo. (1980) Relaciones Agua Suelo Planta Atmósfera. Universidad Autónoma de Chapingo. Chapingo, México.
- 2.- Aidarov, I. P., A. I. Golovánov y M. G. Mamáev. (1985). El riego. Editorial MIR, Moscú, U. R. S. S.
- 3.- Bertrand A. R. & J. F. Parr. (1961). Design and operation of the Purdue Sprinkling infiltrometer. Research Bulletin 723, Agriculture Experiment Station, Purdue University.
- 4.- Catastro e Inventario de Recursos Naturales de Nicaragua. (1971). Levantamiento de Suelos de la Región Pacífica de Nicaragua. Ministerio de Agricultura y Ganadería. Volumen II.
- 5.- FAO (1967) La erosión del suelo por el agua. FAO, Roma, Italia.
- 6.- Hubert, W. (1983). Mantegamos viva la tierra: causas y remedios de la erosión del suelo. Boletín de suelos de la FAO 50. Roma, Italia.
- 7.- Hudson, N. (1982). Conservación del suelo. Edit. Reverté, Barcelona, España.
- 8.- Kamphorst, A. (1987). A small rainfall simulator for the determination of soil erodibility. Netherlands Journal of Agricultural Science, 35:407-415.
- 9.- Kirkby, M.J. & R. P. C. Morgan. (1984). Erosión de suelos. Edit. LIMUSA, México, D.F.
- 10 - Laws, J.D. (1940) Recent Studies in Raindrops and Erosion, Agricultural Engineering. 21:431-433.
- 11 - Morín, J., D. Goldberg & I. Seginer. (1967). A rainfall Simulator with a Rotating Disc. Transactions of the American Society of Agricultural Engineering. 10;1:74-77, 79.
- 12 Prat, C. (1988) El mini-simulador de lluvia, teoría, metodología y uso práctico. Misión ORSTOM-IRENA. Managua, Nicaragua.
- 13.- Sanchez, P. A. (1981) Suelos del Trópico. Características y manejo. IICA, San José, Costa Rica.

- 14.- Wischmeier, W. H. ,D. D. Smith y R. E. Uhland. (1958) Evaluation of factors in the soil-loss Equation. Agricultural Engineering, 39:455-462, 474.
- 15.- Wischmeier, W. H. & D. D. Smith. (1962). Soil-Loss estimation as a tool in soil and water management planning. Symposium 1-10 of October of 1962. Gent, Bélgica.
- 16.- Wischmeier, W. H. & D. D. Smith. (1978). Predicting rainfall erosion losses. United States Department of Agriculture. Agricultural Handbook. Washington, D. C., U. S. A.

ANEXO 1

Especificaciones de diseño del mini-simulador de lluvia.

- Magnitud de la lluvia	18 mm
- Duración de la lluvia	3 min.
- Intensidad de la lluvia	6 mm/mm
- Altura de caída de la gota en la parte más baja de la pendiente	425 mm.
- Altura de caída de la gota en la parte más alta de la pendiente	375 mm
- Promedio de la altura de caída de la gota	400 mm
- Diámetro de la gota	5.9 mm
- Masa de la gota	0.106 g
- Número de capilares	49
- Energía cinética de la lluvia	35.4 J/mm
- Area de la parcela de estudio	0.0625 m ²
- Pendiente de la parcela	20 %

ANEXO 2

Pasos para el llenado y calibración del depósito rociador del mini-simulador de lluvia antes de la simulación de la lluvia.

A) Para el llenado del depósito rociador deberá seguirse las siguientes instrucciones:

- Asegurese que el tubo regulador de presión tenga bien puesto el tapón de hule.

- En una parcela auxiliar ó marco de ensamblaje coloque el rociador de forma invertida, con los capilares hacia arriba (Fig. 2).

- Quite el tapón de hule que se encuentra en el plano de los capilares y proceda al llenado del depósito del rociador através del orificio descubierto (Fig. 2).

- Una vez llenado el depósito, coloque nuevamente el tapón de hule al orificio por el cual realizo el llenado.

- Coloque el rociador en posición normal (posición para producir la lluvia), sobre el marco de ensamblaje.

B) Para la calibración del depósito rociador:

- Quite lentamente el tapón de hule del tubo regulador de presión y observe que el agua introducida en el tubo regulador de presión debido al proceso de llenado, salga completamente.

- Simultáneamente, ajuste la altura requerida al tubo regulador de presión (altura exterior), para lograr obtener la intensidad requerida (para proporcionar una intensidad de 6 mm/min, hay que dar una altura exterior al tubo regulador de presión de 2.75 cm lo cual se realiza con un vernier como lo muestra la Fig. 3').

- Al finalizar la operación anterior, coloque nuevamente el tapón del tubo regulador de presión y de esta manera el rociador quedara dispuesto para llevar a cabo la simulación de la lluvia.

Nota: Es conveniente que el nivel del agua en el depósito del rociador coincida con el cero de la escala graduada en dicho depósito, con el objetivo de que al finalizar la simulación de la lluvia se pueda verificar la cantidad de agua aplicada.

ANEXO 3

Descripción de series de suelos, utilizados en la etapa de laboratorio (Catastro, 1971)

Serie San Nicolás (Sn). Typic Pellusterts.

Estos suelos se localizan a ambos márgenes de la Quebrada Palo Blanco. Ocupa un relieve plano, son moderadamente profundos e imperfectamente drenados.

Presentan textura muy fina en todo el perfil dominando el tipo de arcilla montmorillonítica y presentando una estructura prismática fuerte en todos los horizontes.

El contenido de materia orgánica es moderadamente alto y decrece con la profundidad; la reacción es moderadamente ácida en los horizontes superiores y moderadamente alcalina en el subsuelo.

Serie Zambrano (ZM). Typic Durosteils.

Esta serie consiste de suelos profundos a moderadamente superficiales, bien drenados, con un subsuelo arcilloso de color pardo rojizo oscuro y que está sobre un estrato endurecido continuo pero fragmentado. Los suelos se han desarrollado de cenizas volcánicas que descansan sobre arcilla, toba parcialmente meteorizada ó arena y escoria cementada. Se encuentra en las planicies ligeramente onduladas, entre la carretera N°1 al norte y Granada al sur. Los suelos Zambrano están intermezclados con los suelos Nejapa, en las unidades de mapeo designados o descritos como asociación Zambrano y limita con los suelos Chilamatillo, Nindirí y Masaya.

Serie Nejapa (NJ). Duric Haplustolls.

La serie Nejapa consiste de suelos que son en su mayoría moderadamente profundos bien drenados, parduzcos, con un estrato endurecido continuo pero fragmentado. Los suelos se han derivado de cenizas volcánicas y están sobre estratos de cenizas ó escoria volcánica suelta o cementada. Se encuentran al sur, sureste y noreste de Managua, en planicies ligeramente onduladas a escarpadas.

ANEXO 4

Descripción de unidades cartográficas del mapa de suelos de la finca "El Plante".(Zelaya, 1989).

Unidad D B544

Bte-

Están ubicados en los declives muy ligeramente ondulados a ligeramente ondulados con pendientes entre 2-4 %; con presencia de capas endurecidas (talpetate) en el perfil que limita moderadamente la penetración radicular de algunos cultivos anuales; con evidencia de erosión en surcos moderada.

Son suelos moderadamente profundos (60 cm-90 cm de profundidad) con textura fina (arcillo-limoso) en la superficie y moderadamente fina (franco arcillo-limoso) en el subsuelo; la estructura es granular fuerte en la superficie y en bloques subangulares moderada en el subsuelo; la capa de talpetate tiene un espesor de 10 cm, es continua pero fragmentada; presentan un buen drenaje.

Presenta un horizonte mólico mezclado por las acciones de labranza con fragmentos de talpetate. La saturación de base es mayor del 50 % y están clasificados como Udic Haplustolls en el Soil Taxonomy (USDA, 1975).

Unidad Ls D4-5

Ctee

Están localizados sobre las laderas ligeramente ondulados a ondulados con pendientes entre 4-8 %; con presencia de capas endurecidas (talpetate) en el perfil que limita fuertemente la penetración radicular de algunos cultivos anuales; con evidencia de erosión en surcos severa.

Son suelos superficiales a poco profundo (25 a 60 cm de profundidad) con textura moderadamente fina (franco-limoso); la estructura es angular moderada; la capa endurecida tiene un espesor que varía de 8 a 15 cm, es continua con fisuras verticales que dan origen a fragmentos en forma de angulares gruesos; y son algo excesivamente drenados.

Presenta un horizonte A mólico mezclado con fragmentos de talpetate. La saturación de base es mayor del 50 % y están clasificados como Udic-duric Haplustolls en el Soil Taxonomy (USDA, 1975).

Unidad Le E2-6

DTE

Están localizados sobre cumbres y laderas escarpadas con pendientes entre 8-14 %; presentan afloramiento rocoso (toba) en algunas áreas; estan fuertemente erosionados por lo que han perdido sus horizontes superiores y sus características de diagnóstico originales.

Son suelos muy superficiales con menos de 25 cm de profundidad. Presentan una textura media (franco a franco-arenoso); la estructura es granular moderada a débil; y tienen un drenaje excesivo. Presenta un horizonte A ócrico perturbado por las acciones de la labranza, mezclado con arenas sueltas y/o semi-consolidadas de la parte más superficial de la toba. La saturación de base es mayor del 50 % y están clasificados como Lithic Ustorthents en el Soil Taxonomy (USDA, 1975).