

**UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA
FACULTAD DE AGRONOMIA
ESCUELA DE PRODUCCION VEGETAL**

TRABAJO DE DIPLOMA

**ERODABILIDAD DE CUATRO SERIES DE SUELOS
DETERMINADA POR EL MINI-SIMULADOR DE LLUVIA
Y EL NOMOGRAMA DE WISCHMEIER**

AUTOR: GERARDO U. MURILLO M.

ASESOR: MSc. ADRIAN VOGEL

Managua, Nicaragua, 1990.

**UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA
FACULTAD DE AGRONOMIA
ESCUELA DE PRODUCCION VEGETAL**

TRABAJO DE DIPLOMA

**LA ERODABILIDAD DE CUATRO SERIES DE SUELOS
DETERMINADA POR EL MINI-SIMULADOR DE LLUVIA
Y EL NOMOGRAMA DE WISCHMEIER**

AUTOR: GERARDO U. MURILLO M.

ASESOR: MSc. ADRIAN VOGEL

Managua, Nicaragua, 1990.

Dedicatoria

Deseo dedicar este trabajo a mi madre: Eny Laura Malespín, a mi tía María Teresa Cruz y a mi tío Isidro Malespín, por el apoyo, sacrificio y esfuerzo que me brindaron durante todo mi tiempo de estudio. A mi hermana Ninoska, a mi novia Almo Iris Ortiz, a mis primas Moritza y Claudia, que me apoyaron para concluir con uno de los sueños de mi madre y mío propio.

Agradecimientos

***Agradezco especialmente a la Escuela de Suelos y Aguas (UNA),
por el apoyo material, técnico y humano brindado durante el
desarrollo de este trabajo.***

***A mi asesor Adriaan Vogel, por su esfuerzo y la dedicación que
me brindó para concluir este trabajo.***

Al colectivo del Laboratorio de Suelos y Aguas:

***Cornelia Palacios,
Jaime Gómez,
Leonardo Mora,
Orlando González y
Luis Hernández.***

A los profesores que me ayudaron:

***Matilde Somarriba,
William Gómez y
Telémaco Talavera.***

A mis compañeros y amigos

***Lutgerda Barahona y
Armando Flores.***

***Al Programa de Ciencias de las Plantas, por el uso de su Centro
de Cómputo en la edición e impresión de este trabajo.***

Indice General:

| Sección | Página |
|---|---------------|
| Indice de cuadros..... | i |
| Indice de figuras..... | ii |
| Resumen..... | iii |
| I.- INTRODUCCION..... | 1 |
| II.- LA ERODABILIDAD DEL SUELO..... | 4 |
| III.- MATERIALES Y METODOS..... | 7 |
| 3.1.- Localización y caracterización de los sitios de estudio..... | 7 |
| 3.2.- Preparación de las parcelas de escurrimiento y ejecución de la simulación de lluvia..... | 7 |
| 3.3.- Cálculo del Índice de erodabilidad..... | 9 |
| 3.4.- Cálculo de la Erodabilidad por el Nomograma de Wischmeier | 13 |
| 3.5.- Análisis estadístico..... | 17 |
| IV.- RESULTADOS Y DISCUSION..... | 19 |
| 4.1.- Resultados de campo usando el Mini-simulador de lluvia..... | 19 |
| 4.2.- Resultados de laboratorio y el Factor de erodabilidad por medio del Nomograma de Wischmeier..... | 20 |
| 4.3.- Comparación entre los métodos en estudio..... | 22 |
| 4.4.- La influencia de la materia orgánica en las variables en estudio..... | 22 |
| 4.5.- Efecto de la textura en las variables en estudio..... | 24 |
| V.- CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES..... | 26 |
| 5.1.- Conclusiones..... | 26 |
| 5.2.- Recomendaciones..... | 27 |
| VI.- BIBLIOGRAFIA CITADA..... | 29 |
| ANEXOS | |

Indice de cuadros:

| Cuadro Nº | Página |
|---|---------------|
| 1.- Valor de "m" para determinar el factor de longitud..... | 13 |
| 2.- Resultados de pérdidas de suelo, escurrimiento superficial, concentración de sedimentos y el Índice de erodabilidad..... | 19 |
| 3.- Resultados promedio de los análisis de las cuatro Series de suelos, para el manejo del Nomograma de Wischmeier y el factor "K"..... | 21 |
| 4.- Resultados promedio de los análisis adicionales de las cuatro Series de suelos..... | 21 |
| 5.- Valores obtenidos de erodabilidad por medio del Mini-simulador de lluvia (I.K.) y el Nomograma de Wischmeier.... | 22 |
| 6.- Valores de correlación al comparar las variables entre sí de las cuatro Series de suelos..... | 23 |

Indice de figuras:

| Figura Nº | Página |
|---|---------------|
| 1.- Sección lateral del Mini-simulador de lluvia..... | 10 |
| 2.- Nomograma para la determinación del factor "K"..... | 18 |

Indice de mapas.

| Mapa Nº | Página |
|---|---------------|
| 1.- Ubicación de los cuatro Series en estudio (según IRENA) en la Cuenca Sur de Managua..... | 8 |

Resúmen:

Se realizó un estudio con el propósito de obtener información acerca de la Erodabilidad del suelo, así como distinguir un método confiable y sencillo para la determinación de ésta.

Se seleccionaron cuatro Series de suelos (San Ignacio, Nejapa, Esquipulas y Zambrano), ubicadas en la Cuenca Sur del Lago de Managua, en base a una recopilación de información existente (topografía, reconocimiento y caracterización del terreno), se procedió a obtener las pérdidas de suelo, escurrimiento superficial, concentración de sedimentos y el Índice de Erodabilidad de cada Serie de suelos, por medio de un Mini-simulador de lluvia desarrollado por Kamphorst (1987).

El factor de erodabilidad (K) se obtuvo a través de cuatro propiedades del suelo (textura, materia orgánica, estructura y permeabilidad), cuyos valores son introducidos en el Nomograma de Wischmeier (1971).

Una vez obtenidos los Índices de erodabilidad (I.K.) y Factor de erodabilidad (K), se determinó que las cuatro Series muestran diferentes grados de susceptibilidad a la erosión. Además, las pérdidas de suelo, escurrimiento superficial, concentración de sedimentos, el Índice de erodabilidad y el Factor de erodabilidad son influenciadas por la materia orgánica. Así también se comprobó que al comparar el Índice y el Factor de erodabilidad, tienen un alto valor de correlación. Se pudo observar que la textura no tiene una influencia directa sobre las pérdidas de suelo, escurrimiento superficial, Índice de erodabilidad y Factor de erodabilidad.

1.- INTRODUCCION

En el mundo y en particular en los países tropicales, donde predominan dos estaciones bien marcadas, como son: la estación de verano y la estación de invierno, se presenta uno de los problemas principales que es el deterioro progresivo del suelo a causa del fenómeno de la erosión hídrica.

En Nicaragua, el problema de la erosión hídrica es sentido todos los años durante la estación de invierno, con las lluvias tropicales de alta intensidad, que causa entre otros problemas en la zona de la Cuenca Sur del Lago de Managua: el escurrimiento de grandes cantidades de agua y sedimentos de las partes altas de la Cuenca, hacia las partes bajas de la misma por el proceso erosivo. Dejando los suelos estériles e impropios para ser utilizados para la agricultura, debido a la pérdida de la capa superficial, y con ella de la fertilidad del suelo. También se presentan serios problemas en las planicies, donde se encuentra la ciudad capital, que sufre los estragos a causa de las inundaciones por contar con un pobre drenaje.

Todos estos problemas se agudizaron después de la destrucción de la ciudad capital provocada por el terremoto del 23 de diciembre de 1972, cuando la población se concentró alrededor de la ciudad de Managua, ocupando la parte alta de la Cuenca Sur de Managua. Esto condujo a la utilización incontrolada de los recursos naturales por parte de la población; como, por ejemplo, la tala de los árboles con diferentes propósitos: ampliación de la zona de uso agrícola, construcción de viviendas, comercialización de la madera, y la venta de leña como medio de subsistencia de los habitantes de la Cuenca.

Una deforestación más fuerte que venía teniendo dicha Cuenca, se

inició estrepitosamente, a partir de los años de 1983-1984, incluso, parte de 1985, cuando los habitantes que se encontraban en las zonas de guerra fueron desplazados hacia zonas más seguras. Muchos de ellos emigraron a Managua, llegando de ésta manera la ciudad a contar con una población estimada en un millón de habitantes.

Los procesos de degradación del medio ambiente, en la Cuenca Sur de Managua, dieron origen a diversos estudios que efectuaron algunas instituciones y Proyectos, como la Dirección de Recursos Naturales y del Medio Ambiente (DIRENA), y también PICSUR (Proyecto de investigación Cuenca Sur del lago de Managua), IRENA (a partir de 1983), para poder introducir prácticas conservacionistas que conlleven a salvaguardar, entre otros, el recurso Suelo del fenómeno de la erosión.

Entre los objetivos de las investigaciones realizadas por las Instituciones, así como los Proyectos anteriores, se menciona estudiar uno de los factores que influye en el proceso erosivo, como es la erosividad, es decir, determinar la capacidad potencial de la lluvia de erosionar. Sin embargo, ellos no trataron de estudiar más específicamente otro factor muy importante como es la erodabilidad, es decir, la vulnerabilidad del suelo frente a la erosión para las condiciones de suelos (Hudson, 1982).

El presente estudio tiene la finalidad de estudiar este factor importante que influye en el proceso de erosión hídrica, que se contempla en la Ecuación Universal de Pérdidas de Suelo (Wischmeier y Smith, 1978). El factor erodabilidad refleja que, diferentes suelos se erosionan a diferentes tasas, cuando los demás factores que afectan la erosión permanecen constantes (Kirkby, 1964).

Para obtener la erodabilidad de algunos suelos que imperan en la Cuenca Sur de Managua, se utilizaron dos métodos: el Nomograma de

Wischmeier *et al* (1971), y el Método del Mini-simulador de lluvias, desarrollado por Kamphorst (1987).

Para este estudio se cuenta con experiencias en la utilización del Nomograma en el estudio que realizó Somarriba (1989), así como la experiencia de Gámez (1989) en el uso del Mini-simulador de lluvia.

Los trabajos antes mencionados, brindan algunos elementos fundamentales para el desarrollo de esta investigación, proponiendo los siguientes objetivos:

OBJETIVOS GENERALES:

- 1.- Obtener el valor del Índice de erodabilidad y el Factor de Erodabilidad para cuatro series de suelos de la Cuenca Sur de Managua.
- 2.- Distinguir un método confiable y sencillo que permita evaluar el factor Erodabilidad del suelo, comparando los dos existentes.

OBJETIVOS ESPECÍFICOS:

- 1.- Fijar los valores de los Índices de Erodabilidad de las cuatro Series de suelos, utilizando el Mini-simulador de lluvias en condiciones de campo.
- 2.- Fijar los valores de Erodabilidad de las mismas Series de suelos con el Nomograma de Wischmeier, utilizando varias características físicas y químicas del suelo.
- 3.- Analizar las relaciones de los valores obtenidos por el Mini-simulador y el Nomograma de Wischmeier.
- 4.- Distinguir la diferencia en el grado de susceptibilidad a la erosión de las cuatro Series de suelos, a través de los dos Métodos e indicar qué Método es más ventajoso.

II.- LA ERODABILIDAD DEL SUELO.

Durante mucho tiempo, los edafólogos han intentado relacionar la erosión con diversas características químicas del suelo que puedan medirse en un laboratorio, iniciándose por primera vez en los Estados Unidos, por la década de 1930, cuando Lutz (1934) pretendió explicar los primeros resultados sobre erosión del suelo en función de las propiedades de éste. Middleton (1930; 1932) empleó una "razón de dispersión" basado en los contenidos de limo y arcilla. Otros estudios como los de Yoder (1936) indicaron una técnica basada en el estudio de la estructura del suelo, para medir la estabilidad del suelo. Estudios realizados por Voznesensky y Astruuri (1940), en la URSS; Ballal (1954, citado por Hudson, 1982), en la India; y en Japón, Nishikata y Takeuchi (1955, citado por Hudson, 1982), se basaron esencialmente en el Análisis Textural. Hasta hace poco estos estudios no proporcionaban una estimación cuantitativa de las proporciones de erosión que puedan esperarse, cuando se somete un suelo a una lluvia. El problema cambió cuando Wischmeier y Mannering (1969), demostraron la existencia de una buena correlación entre la erodabilidad y un índice que engloba quince propiedades físicas del suelo. Posteriormente, este método ha sido perfeccionado hasta hacerlo práctico, empleando sólo cinco propiedades del suelo (Wischmeier *et al*, 1971), que forma parte de un Nomograma (Hudson, 1982).

El Nomograma (véase Cuadro 1), se utilizó para obtener el factor Erodabilidad del suelo (Factor K) para suelos en los Estados Unidos, cuyos valores K no habían sido determinados previamente (Kirkby y Morgan, 1984).

Estudios realizados por Swaify y Dangler (1977), en los suelos tropicales de Hawaii, indicaron que el Nomograma de Wischmeier no se adaptaba a suelos de origen volcánico, con estructura pobre y textura

media.

Uno de los Métodos utilizados en el desarrollo de ésta investigación en la Cuenca Sur de Managua, es el Nomograma de Wischmeier, para obtener el valor K, a través de cinco propiedades físicas del suelo, como detallamos en el Capítulo de Materiales y Métodos.

Algunos investigadores han realizado medidas de la Erodabilidad, sometiendo al suelo a pruebas más directas, relacionadas con la Erosividad, como fueron: Ellison (1947) y Gussak (1946). Sin embargo, estas pruebas fueron relativamente artificiales, lo que condujo a tratar de medir las variaciones de Erodabilidad del suelo bajo condiciones de Erosividad constante, iniciándose así el desarrollo de la investigación en el uso de Simuladores de lluvia, que se emplean tanto en el laboratorio como en el campo, sobre suelos inalterados.

El empleo frecuente de Simuladores de lluvia artificial, ha arrojado resultados interesantes, siendo los más notables los de Adams *et al* (1958) y Moldenhaver (1965). Estos estudios solo dan una medida relativa de como uno u otro suelo responden a la erosión (Hudson, 1982).

El desarrollo de las investigaciones y las exigencias propias de las mismas, han logrado la creación de nuevas técnicas y el diseño de diversos aparatos con fines de estudio, siendo éste el Mini-simulador de lluvia desarrollado en Holanda (Kamphorst, 1987), destinado para estudiar la susceptibilidad a la Erosión de los suelos, tanto en el Laboratorio como en el campo.

El empleo del Mini-simulador de lluvia fué por primera vez en el Instituto Superior de Ciencias Agropecuarias (ISCA, actualmente Universidad Nacional Agraria -UNA-) por Gámez (1989) en su trabajo de Diploma "Evaluación de Indices de Erodabilidad a través de Pérdidas de suelos mediante un Mini-simulador de lluvia". Este estudio constó de una

etapa de familiarización, adquisición de experiencia y en la búsqueda de una metodología eficaz en el empleo del Mini-simulador.

El uso del Mini-simulador de lluvia, para la obtención del Índice de Erodabilidad (I.K.) usando la Ecuación Universal de Pérdidas de Suelo (EUPS) (Wischmeier *et al*., 1965), se detalla en el Capítulo de Materiales y Métodos.

III.- MATERIALES Y METODOS.

El presente trabajo fué ejecutado en diferentes fases que comprenden:

3.1.- Localización y Caracterización de los sitios de estudio.

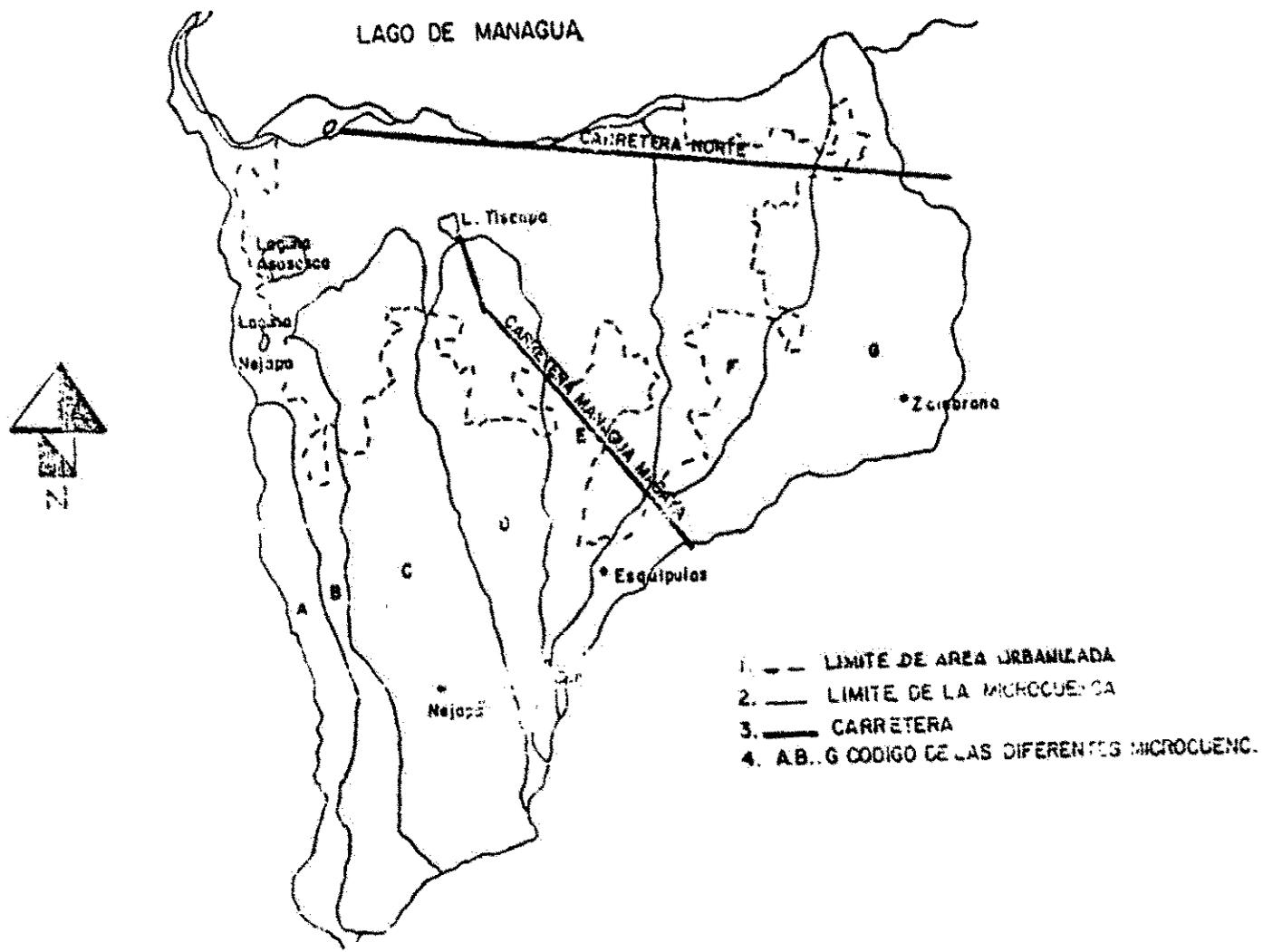
Por la gran extensión de la Cuenca Sur de Managua, y la diversidad de Series de suelos existentes en ella, se determinó seleccionar cuatro de éstas, de acuerdo a las condiciones siguientes: la accesibilidad a la Serie o Lugar, la Capacidad de Uso, el dominio de la Serie, así como la pendiente del terreno y la importancia agrícola que pueda tener dentro de la Cuenca. Se lograron seleccionar las Series: Esquipulas, San Ignacio, Nejapa y Zambrano.

Una vez seleccionadas las Series de suelos se procedió a la localización de la Serie en el terreno, comprobar su accesibilidad, ya sea por trocha, carretera, etc. Además a ubicar el lugar más representativo de cada Serie (Mapa 1).

La caracterización se enmarca en un estudio edafológico detallado, en el cual se efectuaron la determinación de la textura por el Método del tacto, la topografía del terreno, la pendiente del terreno determinada por un Clinómetro, la toma de muestras del suelo para determinar: la Densidad Aparente por el Método del Cilindro, y la Capacidad de Campo por el Método de la Olla de Presión a 0.33 atmósferas (véase Anexo 2).

3.2.- Preparación de las parcelas de escurrimiento y ejecución de la simulación de lluvia.

La preparación de la parcela consiste en primer lugar en modificar la pendiente original del suelo en estudio, a una pendiente del 20%, por ser ésta una restricción que presenta el Mini-simulador de lluvia. Para lograr ésta característica se sigue el proceso descrito en el Anexo 3.



MAPA 1: UBICACION DE LAS CUATRO SERIES EN ESTUDIO (SEGUN IRENA 1983) EN LA CUENCA SUR DE MANAGUA

Concluida la instalaci3n y la preparaci3n debida de la parcela, se procede a llevar a Capacidad de Campo, o pr3xima a ella, a la parcela en estudio con el fin de evitar salpicaduras y la formaci3n de una costra compacta y relativamente estable, que evite la infiltraci3n (Bryan, 1969; Morgan, 1977; Kamphorst, 1987).

Para calcular el vol3men de agua a aplicar a la parcela, se obtiene previamente el porcentaje de humedad del suelo (Hp), mediante la siguiente ecuaci3n:

$$\% \text{ Hp} = \frac{\text{Psh} - \text{Pss}}{\text{Pss}} \times 100 \quad [\text{Ecuaci3n 1}]$$

donde, % Hp = Porcentaje de humedad presente en el suelo.

Psh = Peso del suelo h3medo.

Pss = Peso del suelo seco.

Conociendo el porcentaje de humedad, la Capacidad de Campo y la Densidad Aparente de cada serie, el vol3men de agua a aplicar se calcula mediante la siguiente ecuaci3n:

$$\text{WAA} = (\text{CC} - \text{Hp}) \times \text{Da} \times \text{P} \times \text{a} \quad [\text{Ecuaci3n 2}]$$

donde, WAA = Vol3men de agua a aplicar para llevar el suelo a Capacidad de Campo (en cm³).

CC = Capacidad de Campo (en %).

Hp = Humedad presente en el suelo al momento de iniciar la simulaci3n de la lluvia (en %).

Da = Densidad aparente del suelo (en gr/cm³).

P = Profundidad del canal3n (en m).

a = Area de la parcela (en cm²).

Calculado el vol3men de agua, se utiliza una parcela auxiliar en la cual se verter3 dicho vol3men con el fin de obtener la constante del tiempo, la cual nos indica el tiempo que habr3 de transcurrir despu3s de aplicar el

agua para que el suelo esté a Capacidad de Campo o próximo a él. Una vez determinada la constante de tiempo, se prosigue la ejecución de la simulación.

El Mini-simulador de lluvia consta de tres partes fundamentales (Kamphorst, 1987):

- a.- Un rociador que posee un regulador de presión en la base principal del frasco, el cual produce el riego superficial.
- b.- Un soporte para el rociador, el cual funciona como defensa contra el viento en el campo.
- c.- Un canalón de acero inoxidable.

(Ver figura 1)

Una vez calibrado y llenado el Mini-simulador de lluvia, se procede a colocar el soporte sobre la parcela en estudio, y sobre éste el rociador para llevar a cabo la ejecución de la simulación de lluvia (véase Anexo 4).

Luego, el escurrimiento superficial, la pérdida de suelo y la concentración de sedimentos son determinados como producto de diez repeticiones de simulación de lluvia realizadas, de las cuales se eliminaron el extremo superior e inferior, quedando sólo 8 repeticiones (véase Anexo 5)

3.3.- El cálculo del Índice de Erodabilidad:

Ejecutada la simulación de lluvia, se toman las pérdidas de suelo ocurridas en cada evento para calcular los Índices de Erodabilidad (I.K.) de cada Serie de suelo. La determinación del Índice de Erodabilidad se efectúa a través de la Ecuación Universal de Pérdidas de Suelo (E.U.P.S.).

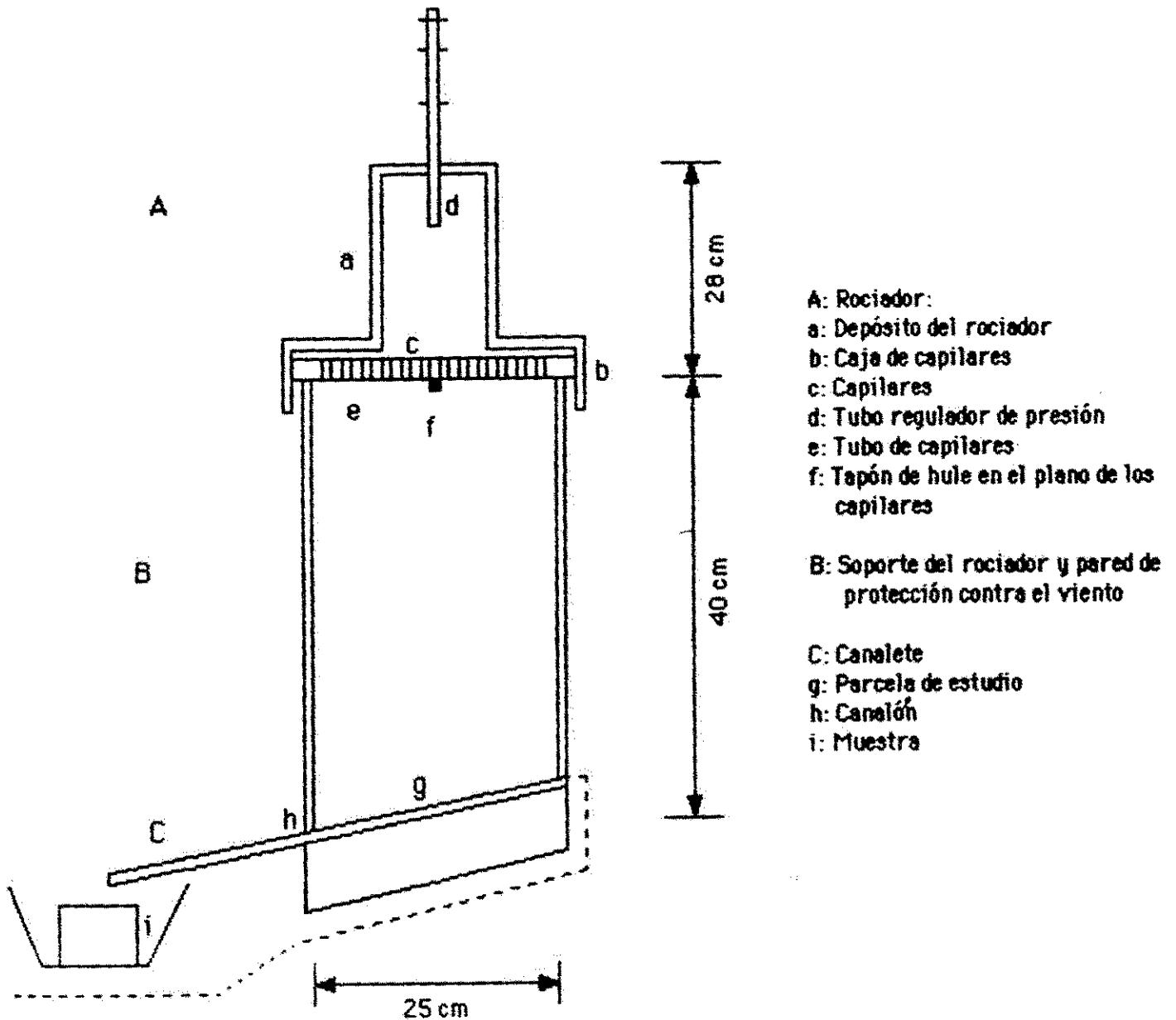


Figura 1: Sección lateral del Mini-simulador de lluvia.

Los parámetros que conforman la E.U.P.S. son:

$$A = R \cdot K \cdot L \cdot S \cdot C \cdot P \quad \text{[Ecuación 3]}$$

donde, A: es la Pérdida de suelo promedio anual (ton/ha/año)

R: factor de Erosividad de la lluvia (MJ/mm/ha.hr)

K: factor de Erodabilidad del suelo (ton.ha.hr/ha.MJ.mm)

L: factor Longitud de la pendiente (adimensional)

S: factor Gradiente de la pendiente (adimensional)

C: factor de Manejo del cultivo (adimensional)

P: factor del Método de control de la Erosión (adimensional).

Los parámetros de la E.U.P.S. que permanecerán constantes debido a las características de diseño del Mini-simulador son los factores: R, L, S, C y P.

Para una mayor comprensión de cada uno de los parámetros que conforman la E.U.P.S., se presentan seguidamente cada uno de ellos.

A: Es la pérdida de suelo promedio de 8 repeticiones de cada tratamiento (ton/ha/h)

R: Es el factor de Erosividad según la Intensidad y la Energía cinética del evento, y se calcula mediante la Ecuación propuesta por Wischmeier (1958), donde:

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

donde E: Energía cinética total del evento de precipitación,

I_{30} : Intensidad máxima de la precipitación en 30 minutos.

El valor calculado de R 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/hr. El valor R es de 36,702.72 MJ.mm/ha.hr, siendo éste constante para todos los eventos (Gámez, 1989).

K: es el parámetro que se define como la resistencia del suelo a la

separación y transporte para las condiciones pluviométricas dadas (Morgan, 1977), y es manejado como Índice de Erodabilidad. El Índice de Erodabilidad no cuantifica el grado de erodabilidad del suelo, por ser un valor relativo y no absoluto. Este valor refleja la susceptibilidad del suelo a la erosión hídrica, y nos indica qué suelo en comparación con otro es más o menos susceptible a la erosión.

Para la obtención del Índice de Erodabilidad, es necesario que el suelo se encuentre bajo un estado de humedad inicial igual a la Capacidad de Campo (Kamphorst, 1987).

Para el cálculo del Índice de Erodabilidad se despeja el factor K de la Ecuación 3:

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

[Ecuación 4]

L: Es el factor de longitud de la pendiente, siendo la distancia desde el punto donde se origina el escurrimiento superficial y el punto donde la pendiente decrece, y permite la deposición del sedimento.

El factor longitud se calcula mediante la siguiente fórmula (Wischmeier y Smith, 1965):

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

donde, L: factor longitud de la pendiente,

X: longitud de la pendiente en metros,

m: un exponente que refleja la relación entre pendiente y grado de erosión.

El exponente "m" toma valores en función de la pendiente, como se refleja en la Cuadro 1.

El valor del factor Longitud de la pendiente es de 0.068, calculado por Gámez (1989).

Cuadro 1: Valores de "m" para determinar el factor L

| m | % de pendiente |
|-----|----------------|
| 0.2 | < 1 |
| 0.3 | 1 ≤ Y < 3 |
| 0.4 | 3 ≤ Y < 4 |
| 0.5 | 5 ≤ Y < 10 |
| 0.6 | 10 ≤ Y < 50 |

Fuente: Kirkby, 1964.

S: Es el factor grado de pendiente, g es expresado en unidades de ascenso o caída vertical por unidad de distancia horizontal, o bien, por cien unidades de distancia horizontal cuando la pendiente es expresada en porcentaje.

El factor S se calcula de la siguiente manera:

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

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

Gómez (1989) determinó un valor de 3.573 para el factor S.

C y P: Los factores de manejo del cultivo (C) y el factor del método de control de la erosión (P), se tomaron como valores la unidad, por no realizarse manejo, ni prácticas conservacionistas en las parcelas en estudio.

3.4.- El cálculo de la erodabilidad por el Nomograma de Wischmeier (1969)

La obtención del factor K a través del Nomograma de Wischmeier, se hace posible determinando cinco parámetros del suelo, siendo tres de ellos obtenidos por medio del análisis realizado en el laboratorio, como son:

- La determinación del contenido de Materia Orgánica, obtenida por el Método de Combustión Húmeda según Walkley y Black (véase Anexo 2).

- La determinación de la Textura, en el cual están incluidos dos parámetros, obtenidos a través del Método de la Pipeta de Robinson (véase Anexo 2).

a- El porcentaje de limo (0.002 - 0.05 mm)

más arena muy fina (0.05 - 0.10 mm)

b- El porcentaje de arena (0.10 - 2.0 mm)

- La estructura del suelo, la cual se refiere al arreglo espacial de las partículas del suelo, se codifica como parámetro, en función del tamaño, forma y grado de los agregados del suelo (Dropeza, ___).

En función del tamaño de los agregados tenemos:

| Codificación | Clase: | |
|--------------|-----------------------------------|-------------------------|
| | a: Estructura granular y francosa | Tamaño de diámetro (mm) |
| 1 | Muy fina | < 1 |
| 2 | Fina | 1 - 2 |
| 3 | Mediana gruesa | 2 - 5 |
| 4 | Muy gruesa | 5 - 10 |
| | | > 10 |
| Codificación | b: Estructura laminar | Tamaño del espesor (mm) |
| 1 | Muy fina | < 1 |
| 2 | Fina | 1 - 2 |
| 3 | Mediana gruesa | 2 - 5 |
| | | 5 - 10 |
| 4 | Muy gruesa | > 10 |

| Codificación | c: Estructura en bloques angulares y sub-angulares | Tamaño del lado (mm) |
|--------------|---|----------------------|
| 1 | Muy fina | 5 |
| 2 | Fina | 5 - 10 |
| 3 | Mediana | 10 - 20 |
| 4 | Gruesa | 20 - 50 |

| Codificación | d: Estructura prismática y columnar | Tamaño de anchura (mm) |
|--------------|--|------------------------|
| 1 | Muy fina | < 10 |
| 2 | Fina | 10 - 20 |
| 3 | Mediana | 20 - 50 |
| 4 | Gruesa | 50 - 100 |

Fuente: Oropeza, —

En función de la forma de los agregados del suelo, ésta se codifica de la siguiente manera (según Oropeza, —):

| Codificación | Característica |
|--------------|---|
| 1 | - Bloques angulares. Bloque y poliedros orientados al rededor de un punto. |
| 2 | - Bloques sub-angulares. Bloques y poliedros con caras aplanadas. |
| 3 | - Granulares; figuras esferoidales no-porosas. - Migajosas; figuras esferoidales porosas. |
| 4 | - Laminar; laminiforme con caras horizontales. - Prismática; bloques semejando prismas. - Columnares; la parte superior de los bloques es redondeada. |

En función del grado de los agregados, éstos se codifican de la siguiente manera:

| Codificación | Característica |
|--------------|--|
| 1 | a. Sin estructura. No hay agregación visible. |
| 2 | b. Débil. Agregados pobremente formados. |
| 3 | c. Moderada. Agregados diferenciados y bien formados. |
| 4 | d. Fuerte. Agregados duraderos, evidentemente bien formados. |

Fuente: Oropeza, —

La estructura del suelo se codifica como sigue:

$$X = \frac{t + F + G}{G}$$

donde, X: codificación de la estructura,

t: tamaño,

F: forma,

G: grado.

La codificación de permeabilidad como parámetro fué realizada en función del perfil del suelo.

| CODIFICACION | CARACTERISTICAS |
|--------------|---|
| 6 | - Suelo "fragipán" (suelos con un horizonte sub-superficial frágil cuyo material se disuelve en agua). |
| 5 | - Suelos superficiales algo permeables, encima de un estrato masivo de arcilla o de arcilla limosa. |
| 4 | - Suelos superficiales moderadamente permeables encima de estratos de arcilla limosa o arcilla franco-limosa, moderadamente estructurada, en bloques angulares o sub-angulares. |
| 3 | - Sub-suelos estructurados pronunciadamente o de textura más gruesa que arcilla franca-limosa. |
| 2 | - Todos los demás suelos. |
| 1 | - Suelos muy arenosos, muy profundos. |

Fuente: Oropeza, —

Una vez obtenidos los cinco propiedades físicas del suelo a través de los métodos antes expuestos, éstas son introducidas en un orden

establecido en el Nomograma de Wischmeier *et al* (1971), siendo el siguiente (Figura 2):

1. Entrar en el valor del porcentaje de limo + arena muy fina.
2. Avanzar horizontalmente hasta que coincida con la curva de porcentaje de arena.
3. Avanzar verticalmente hasta que coincida con la recta respectiva del porcentaje de Materia Orgánica.
4. Avanzar horizontalmente hasta que coincida con la recta respectiva del tipo de estructura.
5. Desde el punto anterior avanzar verticalmente hacia abajo hasta que coincida con la recta de permeabilidad respectiva.
6. Avanzar horizontalmente hacia la izquierda y se consigue el valor "K" (Dropeza, —).

3.5.- Análisis Estadístico.

Se realizó un análisis estadístico de separación de medias de rangos múltiples de Duncan con un grado de significancia de 0.05%. Los datos presentados en los cuadros 2, 3 y 4 del siguiente capítulo son los promedios de 8 repeticiones. Los promedios seguidos de la misma letra no son diferentes por Duncan. Los que tienen letras diferentes varían significativamente. Si no hay letra el promedio es diferente en todas.

Además se realizó un análisis de Correlación entre los promedios, con un grado de confianza de 95%, los cuales se presentan en el Cuadro 6.

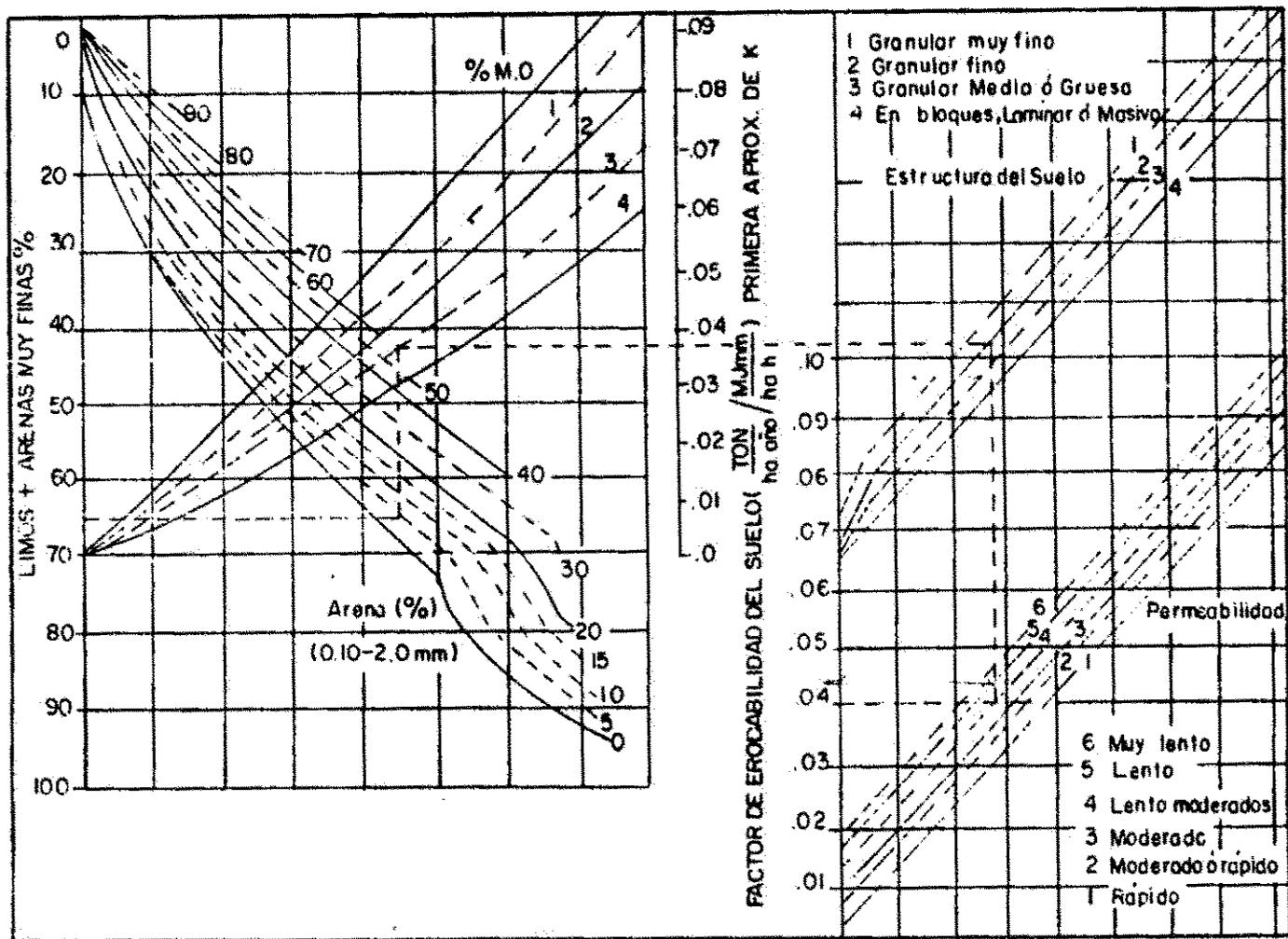


FIG. 2. NOMOGRAMA PARA LA DETERMINACION DEL VALOR DE K (WISCHMEIER et al 1971) MODIFICADO POR FOSTER et al (1981).

IV.- RESULTADOS Y DISCUSION.

4.1.- Resultados de campo usando el Mini-simulador de lluvia.

En la fase de campo se evaluaron, de cuatro series de suelos, las siguientes variables; Pérdidas de suelo, escurrimiento superficial y concentración de sedimentos. Como resultado de 8 repeticiones de simulación de lluvia, se refleja en el Cuadro 2, el promedio de cada una de estas variables.

Cuadro 2: Resultados de Pérdidas de suelo, Escurrimiento superficial, Concentración de sedimentos y el Índice de Erodabilidad (I.K.).

| Serie de suelo | Pérdida de suelo (gr) | Escurrimiento superficial (ml) | Concentración de sedimentos (gr/l) | I.K. |
|----------------|-----------------------|--------------------------------|------------------------------------|------------|
| San Ignacio | 22 a | 544 ab | 40.44 | 0.00039 a |
| Nejapa | 23 a | 525 a | 43.41 | 0.00041 ab |
| Esquipulas | 25 a | 542 ab | 46.12 | 0.00045 bc |
| Zambrano | 29 | 636 b | 45.59 | 0.00052 c |

El análisis estadístico de separación de medias de Duncan, demuestra que no existen diferencias significativas de las Pérdidas de suelo entre las Series San Ignacio, Nejapa y Esquipulas. Sin embargo, existen diferencias significativas de éstas con la Serie Zambrano, que muestra la mayor Pérdida de suelo. A la vez, tiene el mayor escurrimiento superficial, sin variar significativamente en comparación con las Series Esquipulas y San Ignacio, las cuales a su vez son similares a la Serie Nejapa.

Entre la Concentración de sedimentos de las cuatro Series, no existen diferencias significativas. La Concentración de sedimentos depende de la relación entre las Pérdidas de suelo y el Escurrimiento superficial, por lo tanto se determina que, a mayor pérdida de suelo y menor escurrimiento,

se obtiene una mayor concentración. De igual manera, a menor pérdida y mayor escurrimiento superficial, se obtiene una menor concentración de sedimentos.

Una vez obtenidos los valores de las constantes R, L, S, C y P de la E.U.P.S. y calculados los promedios de Pérdidas de suelo, a través de la simulación de lluvia, en cada Serie de suelo, se lograron calcular los Índices de Erodabilidad (I.K.), usando la Ecuación 4 (véase Cuadro 2).

A través del análisis estadístico se encuentra que las Series más susceptibles a la erosión son Zambrano y Esquipulas (I.K. más altos). Sin embargo, la Serie Esquipulas es similar a la Serie Nejapa, y ésta es similar a la Serie San Ignacio.

4.2.- Resultados de Laboratorio y el Factor de Erodabilidad por medio del Nomograma de Wischmeier.

En la fase de laboratorio se realizaron los análisis de cuatro propiedades del suelo, como son Textura, Materia Orgánica, Estructura y Permeabilidad (véase acápite 3.4). Como producto de ocho repeticiones de suelo realizadas, se presentan en los Cuadros 3 y 4, los resultados promedios; los cuales son utilizados para obtener el factor "K", a través del Nomograma de Wischmeier.

A través de la Separación de medias, se comprobó que no existen diferencias significativas entre las Series respecto al factor "K", debido a que las clases texturales son bastante similares, lo que condujo a valores de "K" semejantes.

4.3.- Comparación entre los Métodos en estudio.

Una comparación de resultados de los dos métodos, de la Simulación de Lluvia y del Nomograma de Wischmeier, con respecto a la variable Índice

Cuadro 3: Resultados promedio de los análisis de las cuatro Series de suelo, necesario para el manejo del Nomograma de Wischmeier, y el factor "K".

| Serie de Suelo | Textura | | | Clase Textural | % M.O. | Estructura | Permeabilidad | Factor K |
|----------------|---------|----------------|----------------|------------------------|--------|------------|---------------|----------|
| | Limo | Arena muy fina | Arena > 0.1 mm | | | | | |
| San Ignacio | 21 b | 46 | 26 a | Arena francosa | 6.12 | 4 | 2 | 0.048 |
| Nejapa | 27 a | 15 a | 37 | Franco Arcillo-Arenoso | 5.89 | 3 | 6 | 0.038 |
| Esquipulas | 36 | 25 b | 20 a | Franco | 3.08 | 3 | 6 | 0.052 |
| Zambrano | 28 a | 34 | 26 a | Franco Arenoso | 1.99 | 3 | 6 | 0.068 |

Cuadro 4: Resultados promedio de los análisis adicionales de las cuatro Series de suelo.

| Serie de suelo | Arcilla | D.a. (gr/cc) | pH (en H ₂ O) | % H | C.C. |
|----------------|---------|--------------|--------------------------|-------|-------|
| San Ignacio | 7 | 1.096 | 6.2 | 25.25 | 41.91 |
| Nejapa | 21 a | 0.921 | 6.9 | 20.35 | 37.46 |
| Esquipulas | 20 a | 0.865 | 6.4 | 30.21 | 41.91 |
| Zambrano | 12 b | 0.978 | 7.2 | 19.85 | 34.81 |

de Erodabilidad y el Factor de Erodabilidad, se presenta en el Cuadro 5.

Cuadro 5: Valores obtenidos de Erodabilidad por medio del Mini-simulador de lluvia (I.K.) y el Nomograma de Wischmeier (K).

| Serie de suelo | I.K. | K |
|----------------|---------|-------|
| San Ignacio | 0.00039 | 0.048 |
| Nejapa | 0.00041 | 0.038 |
| Esquipulas | 0.00045 | 0.052 |
| Zambrano | 0.00052 | 0.068 |

Al realizar la comparación entre las variables se determinó que existe una correlación ($r=0.89^*$) entre los dos métodos, como se muestra en el Cuadro 6; a pesar que el Índice de Erodabilidad se obtiene a través de las Pérdidas de suelo, y el factor "K" es obtenido a través de las propiedades descritas en el acápite 3.4. Es posible que esta relación se deba al efecto de la Materia Orgánica en ambos métodos.

4.4.- La influencia de la Materia Orgánica en las variables en estudio.

Al comparar las variables de las cuatro Series de suelo analizadas, se encuentran diferentes valores de correlación (véase Cuadro 6).

Existe una correlación entre la Materia Orgánica y las Pérdidas de suelo ($r=-0.94^*$), el Escurrimiento superficial ($r=-0.77^*$), la Concentración de sedimentos ($r=-0.83^*$), el Índice de Erodabilidad ($r=-0.95^*$) y el factor Erodabilidad ($r=-0.87^*$).

Cuadro 6: Valores de correlación al comparar las variables entre sí, de las cuatro Series de suelo.

| Variables | I.K. | K | P.s. | E.s. | C.s. | Limo | Amf | A>0.1 | M.O. | Da | Arcilla |
|-----------|------|-------|------|-------|-------|-------|--------|--------|--------|--------|---------|
| I.K. | 1 | 0.89* | 1 | 0.89* | 0.73* | 0.43 | -0.04 | -0.33 | -0.95* | -0.31 | 0.03 |
| K | | 1 | - | - | - | 0.18 | 0.43 | -0.57* | -0.87* | 0.08 | -0.40 |
| P.s. | | | 1 | 0.91* | 0.73* | 0.40 | -0.02 | -0.32 | -0.94* | -0.28 | 0 |
| E.s. | | | | 1 | 0.38 | 0.01 | 0.33 | -0.27 | -0.77* | 0.15 | -0.40 |
| C.s. | | | | | 1 | 0.89* | -0.57* | -0.27 | -0.83* | -0.85* | 0.65* |

I.K.= Índice de Erodabilidad

E.s.= Esguerrimiento superficial

A>0.1= Arena > 0.1 mm

K= Factor de Erodabilidad

C.s.= Concentración de sedimentos

M.O.= Materia Orgánica

P.s.= Pérdidas de suelo

Amf= Arena muy fina

D.a.= Densidad aparente

*= Correlación significativa al 95%

Como muestran los Cuadros 2 y 3, la Serie de suelo con el contenido más bajo de Materia Orgánica (Serie Zambrano), tiene la mayor pérdida de suelo. A medida que va aumentando el contenido de Materia Orgánica, se van disminuyendo las pérdidas de suelo. Esto se debe a que la Materia Orgánica tiene un efecto cementante entre las partículas de suelo, dándole mayor cohesión y estabilidad a los agregados, por lo que las pérdidas de suelo disminuyen.

En el esguerrimiento superficial, la Serie de suelo con el contenido más bajo de Materia Orgánica (Serie Zambrano), tiene el mayor esguerrimiento superficial (véanse Cuadros 2 y 3), por lo que a medida que aumenta el contenido de M.O., disminuye el esguerrimiento superficial, debido a que la M.O. actúa como una esponja absorbiendo agua, por lo tanto el esguerrimiento es menor. A excepción de la Serie San Ignacio, donde la relación no se corresponde a la tendencia antes descrita, debido a que se encuentra influenciada por la permeabilidad y la estructura, que varían en comparación con las otras series anteriores, este efecto es causado a la

presencia de alteraciones en el suelo debidas a la recolección de raíces tuberosas (*Manihot esculenta*), poco antes de haberse realizado la simulación.

Considerando que la Concentración de sedimentos es sólo una variable deducida de la relación, Pérdida de suelo y Esguerrimiento superficial, así como la relación directa entre la M.O. y ambos parámetros, es lógico encontrar un alto valor de correlación ($r=-0.83^*$) entre la M.O. y la Concentración de sedimentos. Con un mayor porcentaje de M.O. se encuentra una menor concentración de sedimentos, y a medida que aquella disminuye aumenta la concentración de sedimentos.

El Índice de Erodabilidad, como variable deducida de las Pérdidas de suelo, muestra lógicamente un alto valor de correlación con la Materia Orgánica ($r=-0.95^*$).

En cuanto al Factor Erodabilidad, existe una correlación con la Materia Orgánica ($r=-0.87^*$). Al comparar la influencia que tiene la M.O. en el Factor Erodabilidad, se comprobó que tiene el mismo efecto descrito para el Esguerrimiento superficial.

4.5.- El efecto de la Textura en las variables en estudio.

A través del análisis estadístico se logró determinar que hay diferencias significativas, en cuanto a textura, entre las Series, a excepción de las Series Zambrano y Nejapa, que no tienen diferencias significativas. Sin embargo, la Serie Esquipulas es diferente y superior a todas, con respecto al porcentaje de limo (véase Cuadro 3).

Con respecto al porcentaje de arena muy fina, las cuatro Series de suelos son diferentes entre sí. A excepción de las Series San Ignacio y Zambrano que son similares y superiores a las demás (véase Cuadro 3).

En cuanto al porcentaje de arena > 0.1 mm, la Serie Nejapa es diferente

a las otras Series y, a su vez, superior (véase Cuadro 3).

En cuanto al porcentaje de arcilla, hay diferencias significativas entre las Series, a excepción de las Series Nejapa y Esquipulas, que son similares (véase Cuadro 4).

De acuerdo a que no se puede apreciar una relación directa entre las pérdidas de suelo y las fracciones del suelo, se procedió a realizar un análisis de regresión lineal, donde se determinó que no existe correlación entre las pérdidas de suelo y el porcentaje de limo ($r=0.40$), la fracción arena muy fina ($r=-0.02$), la fracción arena > 0.01 mm ($r=-0.32$) y la fracción arcilla ($r=0$). Según los resultados de correlación entre las variables, ninguna de ellas tiene un efecto directo sobre las pérdidas de suelo, cuando se somete el suelo a una simulación de lluvia.

Al igual que las pérdidas de suelo, la Textura no tiene un efecto directo sobre el Esguerrimiento superficial, ni sobre el Índice de Erodabilidad, por lo que se procedió a un análisis de regresión lineal, donde se determinó que no existe correlación con el Esguerrimiento superficial, ni con el Índice de Erodabilidad de cada una de las fracciones (véase Cuadro 6).

Estos resultados coinciden con los estudios realizados por Voznesensky y Astruuri (1940), Ballal (1954) y Nishikata y Takeuchi (1955), los cuales se basaron esencialmente en el análisis textural, por lo que éstos estudios no proporcionaban una estimación de las proporciones de la erosión que pueden esperarse cuando se somete un suelo a una lluvia.

V.- CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.

4.1.- Conclusiones:

1.- Los resultados obtenidos mediante el simulador de lluvia de Kamphorst, para evaluar las Pérdidas de suelo, el Escurrimiento superficial y la Concentración de sedimentos, así como para calcular el Índice de Erodabilidad (I.K.), demuestran que existen diferencias entre las Series de suelo San Ignacio, Nejapa, Esquipulas y Zambrano, en cuanto a todas estas variables.

2.- Las mismas cuatro Series de suelo muestran diferencias respecto al Factor Erodabilidad (K), determinado por medio del Nomograma de Wischmeier. Estas diferencias no son significativas.

3.- Una comparación entre el Índice de Erodabilidad (I.K.), obtenido mediante el Minisimulador de lluvia, y el Factor Erodabilidad (K), determinado con el Nomograma de Wischmeier, demuestra que existe una correlación ($r=0.89^*$) entre ambas variables.

4.- Según los resultados obtenidos a través de la simulación de lluvia, se determinó que la Materia Orgánica tiene un efecto inversamente proporcional sobre las Pérdidas de suelo, Escurrimiento superficial, el Índice de Erodabilidad (I.K.) y el Factor Erodabilidad (K).

5.- De acuerdo a los resultados obtenidos de las cuatro Series se comprobó que las fracciones del suelo, por sí solas, no tienen ninguna influencia sobre las pérdidas del suelo, ni sobre el Escurrimiento superficial y el Índice de Erodabilidad, lo cual coincide con resultados de estudios anteriores.

6.- A través del análisis estadístico se comprobó que los valores de Erodabilidad y el Índice de Erodabilidad en ambos métodos tienen un comportamiento similar. Se concluye que el Índice de erodabilidad es más

realista, debido a que la determinación de éste es obtenido a través de una simulación con el suelo en su estado natural, y no indirectamente a través de propiedades del suelo (en el laboratorio), como el valor de Erodabilidad.

4.2.- Recomendaciones:

1.- Se recomienda obtener el valor de Erodabilidad a través de la metodología de parcelas de escurrimiento, utilizando la infraestructura construída por la UNA en Ticuantepe, y efectuar una correlación entre éste método con el Mini-simulador de lluvia y el Nomograma de Wischmeier.

2.- Se recomienda efectuar estudios sobre la estructura en diferentes Series de suelos por considerarse una de las variables que influyen en la Erodabilidad.

3.- Se recomienda seguir realizando estudios sobre el efecto de la materia orgánica en las pérdidas de suelo, escurrimiento superficial y la erodabilidad en diferentes Series de suelos.

4.- Para estudios posteriores, se recomienda realizar un balance económico de cada método en estudio.

VI.- BIBLIOGRAFIA CITADA

- ADAMS, J. E.; D. KIRKHAM and D. R. NIELSEN. 1957. A portable Rainfall-Simulator. In: Filtrometer and physical measurement of soil in place. Proceedings of Soil Science Society of America, 21, J, 473-477.
- BRYAN, R. B. 1969. The relative erodability of soil developed in the Peak district of Derbyshire. Geogr. Ann., 51A, 145-159.
- BRYAN, R. B. 1974. Water erosion by splash and wash and the erodability of Alberta soils. Geogr. Ann., 56A, 159-182.
- CATASTRO. 1971. Levantamiento de suelos de la región del Pacífico de Nicaragua. Volúmen II. Descripción de suelos. Managua, Nicaragua.
- DEWIS, J.; F. FREITAS. 1984. Métodos Físicos y Químicos de Análisis de Suelos y Aguas. Boletín sobre Suelos de la FAO Nº 10. Edit. de la Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación (FAO), Roma. 252 p.
- EVANS, R. 1980. Mechanics of water erosion on hill pastures with particular reference to the Peak district. J. Br. Grassl. Soc. 32, 65-76.
- GAMEZ, W. 1989. Evaluación de Indices de Erodabilidad a través de pérdida de suelos mediante un Mini-Simulador de lluvia. Tesis de Grado. Instituto Superior de Ciencias Agropecuarias. Managua, Nicaragua.
- GUSSAK, V. B. 1946. A device for the rapid determination of erodability of soils and some results of its application (In Russian with English summary). Pedology, 481-491.
- HUDSON, N. 1982. Conservación del suelo. Edit. Reverté, Barcelona, España.
- INSTITUTO DE LOS RECURSOS NATURALES Y EL AMBIENTE (IRENA). 1983. Plan de Ordenamiento y Manejo de la Cuenca Hidrográfica. Volúmen II.

Managua, Nicaragua.

- KIRKBY M. J. and R. P. C. MORGAN. 1984. Erosión del suelo. Edit. Limusa, México, D. F.
- KAMPHORST, A. 1987. A small rainfall simulator for the determination of soil erodability. *Netherlands Journal of Agricultural Science*. 35: 407-415.
- LUTZ, T. F. 1934. The physico-chemical properties of soils affecting soil erosion. *Missouri Agricultural Experimental Station Research Bulletin* 212.
- MIDDLETON, H. E., C. S. SLATER and H. G. BYERS. 1934. The physical and chemical characteristics of the soils from the Erosion Experiments Stations. *United States Department of Agriculture. Technical Bulletin* 430.
- MOLDENHAUER, W. 1965. Procedure for studying soil characteristics by using disturbed samples and simulated rainfall. *Transactions of American Society of Agricultural Engineers*, 8, 1, 74-75.
- MORGAN, R. P. C. 1977. Soil erosion in the United Kingdom, field studies in the Silsoe area 1973-1975. *Nat. Coll. Agric. Silsoe. Occasional paper* 4.
- OROPEZA, J. L. ———. Manejo de la Ecuación Universal de Pérdidas de Suelo.
- RICHTER, G. and NEGENDANK, J. F. W. 1977. Soil erosion processes and their measurement in the German area of the Moselle river. *Earth Surf. Proc.* 2, 261-78.
- SOMARRIBA, M. 1989. Planificación conservacionista de la Finca "El Plantel". Tesis de Grado. Instituto Superior de Ciencias Agropecuarias. Managua, Nicaragua.
- SWAIFY and DANGLER. 1977. Erodability of selected tropical soil in relation of structural and hydrological parameters in soil erosion. Prediction and control. *Soil Conservation Society of America*.

Ankeny, Iowa. pp. 105-114.

VOZNESENSKY, S. and A. B. ARSTRUUI. 1940. A laboratory method for determining the anti-erosion stability of soils. Problems of erosion resistance of soils. Tifflis 18-33 (in Russian). Abstract in soils and fertilizers. 10, 289 (1947).

WISCHMEIER, W. H. and SMITH, D. D. 1965. Predicting rainfall-erosion losses from cropland East of the Rocky Mountains. United States Department of Agriculture. Agricultural Handbook № 282. Washington, D. C.

WISCHMEIER, W. H. and MANNERING, J. W. 1969. Relation of soil properties to its erodability. Proc. Soil Sci. Soc. Am., 33, 131-137.

WISCHMEIER, W. H. and SMITH, D. D. 1978. Predicting rainfall erosion losses. United States Department of Agriculture. Agricultural Handbook № 537. Washington, D. C.

YODER, R. E. 1936. A direct method of aggregate analysis of soils and a study of the physical nature of erosion losses. Journal of the American Society of Agronomy, 28, 337-351.

ANEXOS

ANEXO 1

Cuatro Series de suelos de la Cuenca Sur y sus características (Catastro, 1971).

1.- Serie Esquipulas (Es) - *Typic Eutrandepts.*

Comprende suelos profundos a moderadamente superficiales, bien drenados, pardo oscuros, francos, que se derivan de aluviales viejos lavados de las tierras altas cubiertas de cenizas volcánicas. Los suelos descansan sobre gravas de escorias basálticas, se encuentran en las planicies que rodean el pueblo de Esquipulas y se extiende hasta 4 kilómetros al noroeste y 5.5 kilómetros al sur, los suelos de Esquipulas están asociados con los suelos de Nejapa, Zambrano, Sabana Grande, Cofradía y Nindirí.

La textura del suelo superficial varía de franco arenoso a franco. Los suelos de Esquipulas tienen permeabilidad moderada, capacidad de humedad disponible moderadamente alta en el suelo superficial y la parte superior del subsuelo, y es moderado en la parte inferior del subsuelo.

Los suelos de Esquipulas tienen un estrato de escorias ligeramente cementado.

2.- Serie San Ignacio (SI) - *Mollic Vitrandepts.*

La Serie San Ignacio consiste de suelos profundos, bien drenados, de textura liviana que se han derivado de cenizas volcánicas recientes. Tienen un suelo superficial pardo oscuro y un subsuelo pardo a pardo oscuro. Los suelos se encuentran en las planicies disectadas al oeste del volcán Santiago y al sur de Ticuantepe, a elevaciones entre 300 y 400 msnm.

Los horizontes arenoso francosos se encuentran a profundidades que

varían de 70 a 110 cm. La parte superior es arenosa franca con un poco de gravas de escorias finas y muy finas. La textura superficial también es más gruesa cerca del volcán y más fina a mayor distancia del volcán.

Los suelos de San Ignacio tienen permeabilidad moderada rápida, capacidad de humedad disponible moderada y una zona radicular moderadas altas y la saturación de bases mayor del 70%.

3.- Serie Nejapa (NJ) - *Duric Haplustolls*.

La Serie Nejapa consiste de suelos que en su mayoría son moderadamente profundos, bien drenados, parduzcos, con un estrato endurecido continuo pero fragmentado.

Los suelos son derivados de cenizas volcánicas y están sobre estratos de ceniza de escorias volcánicas, sueltas o cementadas. Se encuentran al sur, sureste y suroeste de Managua, en planicies ligeramente onduladas o escarpadas, las elevaciones varían de 150 a casi 500 msnm.

La profundidad del estrato endurecido varía de 30 a 90 cm, dependiendo de la pendiente. El estrato endurecido varía en espesor dureza y el número de grietas verticales y horizontales.

La permeabilidad del estrato endurecido es moderadamente lento, pero la presencia de grietas verticales cambia la permeabilidad total a moderada.

Los suelos Nejapa tienen alta capacidad de humedad disponible. El contenido de materia orgánica es alta en el suelo superficial y moderada en el subsuelo.

4.- Serie Zambrano (Zm) - *Typic Durustolls*.

La Serie Zambrano consiste de suelos profundos a moderadamente superficiales, bien drenados, con un subsuelo arcilloso de color pardo

rojizo, 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 o arena y escoria cementada. Los suelos Zambrano están entremezclados con los suelos Nejapa, en las unidades de mapeo designadas y escrito como asociaciones Zambrano, y limitan con los suelos Chilamatillo, Nindirí y Masaya.

Los suelos Zambrano, generalmente, tienen permeabilidad moderada, capacidad de humedad disponible moderada o moderadamente alta, y una zona radicular moderadamente superficial. El contenido de materia orgánica es moderadamente alto en los primeros horizontes y moderada en el subsuelo.

Los suelos se encuentran en la zona de vida transicional entre Bosque tropical seco y Bosque sub-tropical húmedo.

ANEXO 2

Metodologías utilizadas en el Laboratorio para los análisis de las muestras de suelo.

1.- TEXTURA. Método de la Pipeta de Robinson:

Abarca tres operaciones:

a) Separación o inactivación de agentes de adhesión (principalmente materia orgánica e ión calcio) y dispersión completa de la muestra de suelo en un medio alcalino. En éste Pre-tratamiento, se oxida la materia orgánica calentando con Peróxido de hidrógeno; el exceso de Peróxido se destruye por ebullición. La porción de suelo mineral preparada se trata con solución de Hexametáfosfato sódico y se agita mecánicamente a gran velocidad para dispersar las partículas.

b) Separación de la fracción arena gruesa. Las suspensiones de suelo pre-tratadas anteriormente, se pasan por un Tamiz Standard ASTM Nº 80, de aberturas de 0.2 mm, la fracción de arena se lava, se seca en la estufa a 105°C durante dos horas, y se pesa.

c) Determinación de la fracción arcilla y la fracción limo en la muestra dispersada. El volumen de la suspensión se completa hasta un litro en una probeta y se mezcla bien, dejándola luego en reposo a una temperatura relativamente constante. Las partículas de suelo caen a través del líquido a diversas velocidades según sea su tamaño, de acuerdo a la Ley de Stokes. Después de un tiempo calculado, se saca con una pipeta una parte alícuota desde una profundidad definida por debajo de la superficie y se evapora a sequedad; el residuo se seca a la estufa y se pesa. De acuerdo con el Sistema Internacional, se necesitan dos tiempos diferentes de sedimentación: uno (corto) para obtener la suma arcilla + limo, y el otro (largo) para obtener la arcilla únicamente (Dewis y Freitas, 1984).

2.- DENSIDAD APARENTE (Da). Método del cilindro:

La densidad aparente del suelo es la masa del material secado en estufa por unidad de volumen de suelo en su estado natural sin alterar. Su valor se expresa en gramos por centímetro cúbico y puede estar comprendido entre 1.0 y 1.8 para suelos minerales. Se calcula por medio de la fórmula:

$$Da = \frac{\text{Peso del suelo seco}}{\text{Volúmen del suelo}} \text{ (gr/cc)}$$

3.- CARBONO ORGANICO. Método de Combustión Húmeda de Walkley y Black:

El cálculo de la cantidad de Carbono orgánico (%CO) en el suelo se basa en su oxidación bajo condiciones normalizadas con Dicromato potásico en solución de Acido sulfúrico. Se usa una cantidad de Dicromato potásico en exceso de la que se necesita para destruir la materia orgánica, y éste exceso se determina valorando con solución de Sulfato ferroso, empleando Difenilamina como indicador, y Fluoruro de sodio para eliminar la interferencia del hierro (Dewis y Freitas, 1984). Para el cálculo del contenido de materia orgánica (%MO) del suelo, se utiliza el factor:

$$\%MO = \%CO \times 1.724$$

ANEXO 3

Metodología de la preparación de las parcelas.

Con un palín se eliminan materiales extraños de la superficie del suelo, tratando a la vez de darle una inclinación próxima al 20%. Una vez que la superficie está limpia, se procede a delimitar el área de la parcela que se va a utilizar para la ejecución de la simulación. Esto se logra usando un canalón que tiene las siguientes magnitudes: 25 cm de largo, 25 cm de ancho y 5 cm de profundidad. Este canalón es introducido al suelo, realizando antes una zanja alrededor del área de estudio, con el propósito que el canalón se introduzca fácilmente a presión (no a golpes con un mazo), a la vez que se van eliminando porciones de tierra de las márgenes externas del área de estudio, permitiendo de tal manera aún más la penetración del canalón, evitando de ésta forma la perturbación del área interna de estudio. Una vez instalado el canalón, se determinará la pendiente de la parcela con la ayuda de un triángulo de madera que consta de las siguientes magnitudes: una base de 25 cm de largo y una altura de cateto opuesto al ángulo de 5 cm, con una pendiente del 20%. Este triángulo se coloca sobre el canalón y con un nivel de burbuja se determina exactamente el 20% de pendiente de la parcela; característica que presenta el diseño del Mini-simulador.

Después de todo lo anterior se procede a darle la estructura original a la parcela con la punta de una navaja y ejerciendo una pequeña presión hacia abajo, se elimina cuidadosamente el micro-relieve de la parcela, tratando de dejar una superficie plana, con una sola inclinación antes mencionada. Posteriormente se eliminan las partículas sueltas sobre la superficie con un soplador manual, evitando de ésta forma que dichas partículas obstruyan los poros de la superficie. Por lo que producirían una mayor pérdida de suelo y un mayor escurrimiento.

ANEXO 4

Metodología de la calibración del Mini-simulador de lluvia.

La calibración del Mini-simulador de lluvia se efectúa de la siguiente manera: el tubo de presión o tubo ventilador (Figura 1, d) es ajustado a una carga de 2.75 cm. De tal forma que en tres minutos se aplique un volumen de agua de 1,125 cc (Gámez, 1989) para lograr obtener una intensidad de lluvia de 6.0 mm/min, que es la intensidad de trabajo del Mini-simulador, y con dicha intensidad se obtiene que la energía cinética de la lluvia es de 35.4 J/mm (Kamphorst, 1987).

Terminada la calibración se efectúa el llenado del rociador (Figura 1, a). El rociador es invertido, dejando hacia arriba la caja de capilares (Figura 1, c), después es retirado el tapón de llenado y el rociador es llenado con agua, usando una manguera conectada al depósito de abastecimiento. El rociador es llenado hasta el fin de los capilares, después es repuesto el tapón y se coloca el rociador en posición original, luego se retira el tapón del tubo ventilador, hasta que el nivel del agua coincida con el nivel cero del depósito del rociador.

ANEXO 5

Manejo del Mini-simulador de lluvia.

Para efectuar la simulación se remueve el tapón del tubo de presión y se coloca sobre el rociador, de tal manera que permita tapar en cualquier momento el tubo de presión. El rociador es movido hacia todas direcciones, asegurando que las gotas de agua salgan de los capilares y caigan uniformemente en la parcela. Después de tres minutos de simulación es repuesto el tapón en el tubo de presión y retirado el rociador, junto con el soporte (Figura 1, b). Los sedimentos y el agua escurridos son almacenados en un recipiente recolector (Figura 1, i), que se coloca junto al canalón (Figura 1, c), las partículas que quedaron sobre el canalón son removidas con ayuda de una limpiadora. Los depósitos de muestras son llevados al laboratorio, donde la cantidad de agua de escorrentía y sedimentos son determinados por la pesa. Después introducida al horno a una temperatura de 105° C, por un tiempo de 48 h. El agua se evapora y las muestras son pesadas nuevamente, así se obtiene la cantidad de suelo perdido para la parcela en estudio, una vez efectuada la simulación.

El escurrimiento superficial se obtiene por diferencia entre el peso de la solución (suelo + agua), menos el peso del suelo seco después de haber estado en el proceso de secado la solución. Posteriormente se determinó la concentración de sedimentos, que es la relación entre la cantidad de suelo encontrado en un volumen de agua determinado.