

UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA
U. N. A.

Facultad de Recursos Naturales y del Ambiente



TRABAJO DE DIPLOMA

**ESTIMACIÓN DE PÉRDIDAS DE SUELO EN LA MICROCUENCA
WIBUSE-JICARO SAN DIONISIO, DEPARTAMENTO DE MATAGALPA,
UTILIZANDO CUATRO MODELOS DE PREDICCIÓN**

Autor:

Br. Ramón Inocencio Reyes Blanco

Ing. Víctor Calderón
Ing. William Gámez Morales

Managua, Nicaragua
2001

DEDICATORIA

A Dios y a la Virgen María Auxiliadora que a través de su hija amada Santa Laura Vicuña, ejemplo de Perseverancia, Dedicación y Aspiración, emprendieron la labor de formar mi educación.

A mis padres Gertrudis Blanco Brenes y Cleto Marcelino Reyes, a mis abuelos Juana Blanco Martinez y Justo Emilio Brenes, a mis hermanos: Andrea, Donald, Juana, Rolando, Piedad y Juan José Reyes Blanco por su incondicional amor, apoyo moral, material y espiritual que permiten cada día la superación de mi vida profesional.

De manera muy especial a Reyna Isabel Niño quien hizo posible el sueño de realizarme en mi carrera universitaria, por su comprensión, entendimiento y paciencia en los momentos difíciles en el transcurso de mis estudios, comienzo y finalización del presente trabajo de investigación y sobretodo por su confianza y apoyo incondicional.

De manera muy especial a mis tías: Melania, Estebana, Jacoba, Paubla, Aurora, Justina y Urcina Blanco Brenes, a todos mis primos por su confianza, preocupación, apoyo y entendimiento que fue muy importante para mi formación profesional.

AGRADECIMIENTO

Mis sinceros agradecimientos a los ingenieros Víctor Calderón y William Gámes, por la confianza que depositaron en mi persona y el apoyo que brindaron en el presente trabajo, con el aporte de sus talentos y conocimiento en la materia del estudio, por el carisma que siempre mantuvieron en cada labor a realizar como asesores, profesores y grandes amigos incondicionales.

Al Centro Internacional de Agricultura Tropical CIAT-Laderas, por el apoyo financiero en el presente estudio.

Al Ing. Fernando Mendoza profesor a cargo de la sala de Sistema de Información Geográfica "SIGMA" de la Universidad Nacional Agraria por su apoyo en la elaboración de los mapas del presente estudio.

Al Ing. Antonio Aviles por su apoyo y disponibilidad del equipo de la sala de fotointerpretación y fotogrametría.

A mis compañeros de clase y muy especialmente al equipo Mankey: Andres Altamirano, Isidro Aragón y Juan Araúz por su amistad, consejos y disponibilidad para colaborar en el presente trabajo.

Muy especialmente a la Lic. Georgina Blanco Vargas, directora del Instituto Saul Toruño Narvaéz a todos los profesores de dicho Instituto por haber contribuido a mi formación profesional.

Al director del Colegio Saul Toruño Narvaéz, Ariel Martínez por su valiosa e incondicional amistad en mi formación primaria muy importante y necesaria en mi formación profesional.

A todos los docentes y administrativos de la Universidad Nacional Agraria "U.N.A.", por haber depositado la confianza en mi persona y haberme otorgado una beca externa (A), muy importante para haber cumplido con mi objetivo de culminar mi formación profesional.

Agradezco también a todas las personas que de una u otra forma colaboraron con mi persona para culminar el presente trabajo.

RESUMEN

El presente estudio se realizó en la microcuenca Wibuse-Jícaro, ubicada en el municipio de San Dionisio en el departamento de Matagalpa, con el propósito de estimar las pérdidas de suelo, utilizando cuatro modelos de predicción, para identificar posibles alternativas de manejo a nivel de microcuenca a través del reconocimiento del mejor modelo adaptado a la zona. Se determinaron las pérdidas de suelo, utilizando cuatro modelos de estimación de pérdida de suelo: Ecuación Universal de Pérdida de Suelo (USLE), Ecuación Modificada de Pérdida de Suelo (MUSLE), Modelo de Williams y el Índice de Fournier.

Las variables evaluadas fueron: los factores de la Ecuación Universal de Pérdida de Suelo (R, K, L, S, C y P), las pérdidas reales por evento lluvioso y las pérdidas de suelo de los modelos de estimación de pérdida de suelo utilizados.

Los datos obtenidos demuestran que la Ecuación Universal de Pérdida de Suelo presentó los valores más altos de pérdidas de suelo de los modelos utilizados correspondientes a 283.6 ton/ha*año, el modelo de Williams presentó pérdidas de suelo de 109.5 ton/ha*año, la Ecuación Modificada de Pérdida de Suelo de 1.57 ton/ha*año y el índice de Fournier presentó las pérdidas de suelo correspondientes a 159.3 ton/ha*año.

Para la realización del presente estudio, se dividió la microcuenca de acuerdo a la pendiente y altura, en tres partes para una mayor homogeneidad, quedando presente la gran influencia de la longitud y gradiente de la pendiente, ya que en la parte alta se obtuvieron los valores de pérdida de suelo más altos para cada uno de los diferentes modelos de estimación de pérdida de suelo utilizados. Para posteriores trabajos se recomienda utilizar la Ecuación Modificada de Pérdidas de Suelo, por presentar las pérdidas de suelo más aproximadas a las pérdidas reales de suelo medidos en el campo. Se recomienda utilizar otras técnicas de conservación de suelo adicional a la práctica de cultivo en contra de la pendiente o en contorno como curva de nivel y terraza, para reducir las pérdidas de suelo.

SUMMARY

The present study was carried out in the microcuenca Wibuse-Jícaro, located in the municipality of San Dionisio, in the department of Matagalpa, with the purpose of estimating the losses of soil, utilizing four models of prediction, to identify possible alternatives of management to level of microcuenca to través of the recognition of the best model adapted to the zone.

Itself determinaron the losses of soil, utilizing four soil loss estimation models: Universal Equation of Loss of Soil (USLE), Equation Modified of Loss of Soil (MUSLE), Model of Williams and Indicate of Fournier. The variables evaluated were: the factors of the Universal Equation of Loss of Soil (R, K, L, S, C yP), the real losses by rainy event and the losses of soil of the models of estimation of pérdida of soil utilized.

The data obtained show that the Universal Equation of Loss of Soil I present the greater losses of soil of the models utilized corresponding 283.6 ton/ha*year, the Model of Williams I present losses of 109.5 ton/ha*year, the Equation Modified of Loss of Soil I present losses of 1.57 ton/ha*year and the Indicate of Fournier I present the losses of soil to corresponding To 159.3 ton/ha*año.

For the execution of the present study, themselves dividio the microcuenca according to the use and management of the cover vegetable, in three parts for a greater homogeneity, remaining present the great influence of the lengt and gradient of the slope, since in it splits high the highest soil loss values for each one of the different soil loss estimation models were obtainedUtilized. For posteriores jobs is recommended to utilize the Equation Modified

INDICE

Contenido	Páginas
Dedicatoria.....	i
Agradecimiento.....	ii
Resumen.....	iv
Summary.....	v
Indice.....	vi
Indice de Tablas.....	ix
Indice de Figuras.....	xi
Indice de Mapas.....	xii
Indice de Anexos.....	xiii
I. INTRODUCCION.....	1
Objetivos.....	3
Objetivo General.....	3
Objetivos Específicos.....	3
Hipótesis.....	3
II. REVISION DE LITERATURA.....	4
2.1 Definición de Cuenca Hidrográfica.....	4
2.2 Partes de una Cuenca.....	4
2.3 El Estudio de la Cuenca.....	5
2.4 Morfología de una Cuenca.....	5
2.5 Erosión del Suelo.....	6
2.6 Procesos de Erosión Hídrica.....	7
2.7 Modelos de Predicción de la Erosión Potencial.....	9
2.8. Ecuación Universal de Pérdida de Suelo (U.S.L.E.).....	10

2.9. Ecuación Modificada de Pérdida de Suelo (M.U.S.L.E.).....	14
2.10. Modelo de Williams.....	14
2.11. Índice de Fournier.....	15
2.12 Aforadores Portátiles.....	18
2.13 Estimación de la Escorrentía de Diseño.....	20
2.14 Tolerancia de Pérdida de Suelo.....	23
III. MATERIALES Y METODOS.....	24
3.1 Descripción del Area de Estudio.....	24
3.2 Información Socioeconómica.....	24
3.3 Características Biofísicas.....	26
3.4 Proceso Metodológico.....	28
3.4.1 Etapa de Precampo.....	28
3.4.2 Etapa de Campo.....	40
3.4.3 Etapa de Postcampo.....	40
IV. RESULTADOS Y DISCUSION.....	42
4.1 Morfometría de la microCuenca.....	42
4.2 Factores de la Ecuación Universal de Pérdida de Suelo (U.S.L.E.).....	42
4.2.1 Factor Erosividad de la Lluvia (R).....	42
4.2.2 Factor Erodabilidad del Suelo (K).....	42
4.2.3 Factor Longitud y Gradiente de la Pendiente (LS).....	42
4.2.4 Factor Uso y Manejo de la Cubierta Vegetal (C).....	43
4.2.5 Factor Prácticas de Conservación de Suelo (P).....	43
4.2.6 Ecuación Universal de Pérdida de Suelo (U.S.L.E.).....	43
4.3 Ecuación Modificada de Pérdida de Suelo (M.U.S.L.E.).....	44
4.4 Modelo de Williams.....	45
4.5 Índice de Fournier.....	46
4.6. Comparación de la ESLE vrs MUSLE y Williams vrs Fournier.....	46

2.9. Ecuación Modificada de Pérdida de Suelo (M.U.S.L.E.).....	14
2.10. Modelo de Williams.....	14
2.11. Índice de Fournier.....	15
2.12 Aforadores Portátiles.....	18
2.13 Estimación de la Escorrentía de Diseño.....	20
2.14 Tolerancia de Pérdida de Suelo.....	23
III. MATERIALES Y METODOS.....	24
3.1 Descripción del Area de Estudio.....	24
3.2 Información Socioeconómica.....	24
3.3 Características Biofísicas.....	26
3.4 Proceso Metodológico.....	28
3.4.1 Etapa de Precampo.....	28
3.4.2 Etapa de Campo.....	40
3.4.3 Etapa de Postcampo.....	40
IV. RESULTADOS Y DISCUSION.....	42
4.1 Morfometría de la microCuenca.....	42
4.2 Factores de la Ecuación Universal de Pérdida de Suelo (U.S.L.E.).....	42
4.2.1 Factor Erosividad de la Lluvia (R).....	42
4.2.2 Factor Erodabilidad del Suelo (K).....	42
4.2.3 Factor Longitud y Gradiente de la Pendiente (LS).....	42
4.2.4 Factor Uso y Manejo de la Cubierta Vegetal (C).....	43
4.2.5 Factor Prácticas de Conservación de Suelo (P).....	43
4.2.6 Ecuación Universal de Pérdida de Suelo (U.S.L.E.).....	43
4.3 Ecuación Modificada de Pérdida de Suelo (M.U.S.L.E.).....	44
4.4 Modelo de Williams.....	45
4.5 Índice de Fournier.....	46
4.6. Comparación de la ESLE vrs MUSLE y Williams vrs Fournier.....	46

4.7 Resultados de escorrentía, utilizando el Método de Aforo.....	48
4.8 Modelación de la microcuenca Wibuse-Jicaro bajo diferentes usos.....	48
V. CONCLUSIONES	50
5.1. Morfometría de la Cuenca.....	50
5.2. Ecuación Universal de Pérdida de Suelo (U.S.L.E.).....	50
5.3. Ecuación Modificada de Pérdida de Suelo (M.U.S.L.E.).....	51
5.4. Modelo de Williams.....	51
5.5. Índice de Fournier.....	51
5.6. Alternativas de manejo a nivel de microcuenca y modelo de mejor ajuste.....	51
5.7. Modelación de la microcuenca Wibuse-Jicaro bajo diferentes usos.....	51
VI. RECOMENDACIONES.....	53
VII. BIBLIOGRAFIA.....	54
VIII. ANEXOS.....	57

INDICE DE TABLAS

Tablas	Páginas
1. Clasificación de la degradación de los suelos por Erosión Hídrica.....	20
2. Tipo de condición Hidrológica de acuerdo al porcentaje cobertura.....	21
3. Clasificación Hidrológica de los Suelos.....	22
4. Condición de Humedad Antecedente.....	22
5. Tolerancia de Pérdida de Suelo.....	23
6. Tipos de Forma de Acuerdo a la Cuantificación del Índice de Gravelius.....	29
7. Símbolos utilizados para el Índice de Protección total.....	33
8. Símbolos de las diferentes Coberturas Vegetal.....	33
9. Valores de Prácticas de Conservación de Suelo (P) de (U.S.L.E.).....	34
10. Clasificación y símbolo de la Erosión Potencial, en ton/Ha/año.....	37
11. Dimensiones de los Aforadores Portátiles.....	38
12. Valores de los Componentes Y pérdidas de Suelo de la (U.S.L.E.).....	43
13. Valores de Pérdidas de Suelo, utilizando la (M.U.S.L.E.).....	45
14. Valores de Pérdidas de Suelo, utilizando el Modelo de Williams.....	45
15. Valores de Pérdidas de Suelo, utilizando el Índice de Fournier.....	46
16. Resumen de las Metodologías.....	48
17. Método del NC para estimar escorrentia (mapa de uso Actual).....	48
18. Método del NC para estimar escorrentia (Mapa de uso Propuesto).....	49
19. Valores para determinar la erodabilidad "K".....	59
20. Valores de "K" nomograma de Wischmeier.....	59
21. Valores de "K" nomograma de Foster.....	59
22. Calculo del factor longitud de pendiente "L".....	60
23. Calculo del factor gradiente de pendiente "S".....	60
24. Determinación del factor cobertura vegetal "C".....	61
25. Índice de cobertura vegetal total.....	61
26. Clases de permeabilidad.....	62

27 a 35. Valores de esorrent{ia y caudal.....	63
36. Coeficiente de esorrentia "C".....	67
37. Relaci3n carga-caudal.....	68
38 y 39. Valores del NC para los complejo suelo-cobertura.....	69

INDICE DE FIGURAS

Figuras	Páginas
1. Aforadores portátiles para el cálculo de la escorrentía.....	19
2. Gráfico para el cálculo de "K" de la (USLE).....	70
3. Gráfico para el cálculo de "K" de la (MUSLE).....	71

INDICE DE MAPAS

Mapas

1. Mapa de Limites de la Microcuenca Wibuse-Jícaro
2. Mapa de Pendientes de la Microcuenca Wibuse-Jícaro
3. Mapa de partes de Wibuse- Jícaro
4. Mapa de Uso Actual de la Microcuenca Wibuse-Jícaro
5. Mapa de Uso Propuesto de la Microcuenca Wibuse-Jícaro

INDICE DE ANEXOS

Anexos	Páginas
1. Materiales.....	57
2. Determinación de la erodabilidad del suelo "K".....	59
3. Determinación de los factores longitud y gradiente.....	60
4. Determinación del factor cobertura vegetal "C".....	61
5. Valores de permeabilidad del SCS (1948).....	62
6. valores de escorrentía y caudal.....	63
7. Las 15 microcuencas del río calico.....	66
8. Coeficiente de escorrentía.....	67
9. Tabla de Relación carga-caudal.....	68
10. Tabla para determinar el Número de Curva.....	69
11. Nomograma de Wischmeier.....	70
12. Nomograma de Foster.....	71

I. INTRODUCCIÓN

En Nicaragua, la erosión hídrica es la forma más importante de erosión en la zona de laderas, ya que la erosión eólica está localizada en el occidente del país. Aproximadamente 7.7 millones de hectáreas del territorio nacional presentan grados variables de erosión. De este total; 4.1 millones (53%), presenta erosión leve a moderada, 2.5 millones (33.4%) erosión moderada a fuerte y 1.1 millones (14.9%) erosión fuerte a severa. De las estimaciones mencionadas, existen diversos resultados experimentales que confirman la magnitud que ha alcanzado la erosión a nivel nacional IRENA, (1994), citado por Guido, (1997).

Tomando en cuenta que la erosión hídrica en Nicaragua es un problema que causa graves consecuencia, se deriva el interés de muchas instituciones, organizaciones y profesionales para tratar de dar solución a dicha problemática. Entre estos podemos mencionar la creación en el año 1988 del Proyecto de Control de Erosión en Managua (PCEM), Proyecto de Conservación de Suelos en el municipio de Santa Lucía Boaco, así como estudios más recientes sobre conservación de suelo de Pacheco (1987), Rivas (1992) y Mendoza (1994), citado por Guido, (1997); y el presente trabajo de investigación que fue realizado por la Escuela de Suelos y Agua en coordinación con el Centro Internacional de Agricultura Tropical (CIAT-Laderas).

A nivel municipal tiene mucha importancia la implementación de estrategias que conlleven a un manejo sostenible de los recursos naturales, la inadecuada planificación es producto de la falta de apoyo técnico, económico y de una caracterización que permita conocer el potencial real de los recursos naturales. El municipio de San Dionisio pertenece al departamento de Matagalpa, ubicado en la región VI, forma parte de varios proyectos impulsados por el CIAT-Laderas (Centro Internacional de Agricultura Tropical), él cual en coordinación con productores líderes ejecutan varias actividades, entre las cuales se destacan la organización de los CIAL (Comité de Investigación Agrícola Local), en los que

se realizan una serie de ensayos que se ponen en práctica y luego se exponen los resultados y experiencias a los demás productores.

El presente estudio tuvo como propósito estimar las pérdidas de suelo producidas en la microcuenca Wibuse-Jícaro, ubicada en el municipio de San Dionisio, en el departamento de Matagalpa, utilizando cuatro modelos: Ecuación Universal de Pérdida de Suelo (U.S.L.E.), Ecuación Modificada de Pérdida de Suelo (M.U.S.L.E.), Modelo Williams, y el Índice de Fournier, para identificar posibles alternativas de manejo, a través del reconocimiento del mejor modelo adaptado a la zona, favoreciendo de esta manera a los productores de esta microcuenca, para brindar un mejor manejo al suelo y reducir de esta manera las pérdidas de suelo por erosión hídrica. La microcuenca Wibuse-Jícaro, forma parte de la subcuenca del río Calico, es una zona agrícola, donde los rendimientos de los cultivos disminuyen cada año, por ello es importante estudiar estos suelos respecto a su erosividad, erodabilidad y manejo agronómico (técnico-práctico); para la realización del presente estudio se plantearon los siguientes objetivos:

OBJETIVOS

Objetivo General

Estimar las pérdidas de suelo en la microcuenca Wibuse-Jícaro, ubicada en el municipio de San Dionisio, en el departamento de Matagalpa en el ciclo Mayo - Octubre de 1999 utilizando cuatro modelos de estimación de pérdidas de suelo

Objetivos Específicos

9. Estimar las pérdidas de suelo utilizando la Ecuación Universal de Pérdida de Suelo (U.S.L.E), Ecuación Modificada de Pérdida de Suelo (MUSLE), Modelo de Williams e Índice de Fournier
9. Identificar posibles alternativas de manejo a nivel de la microcuenca, a través del reconocimiento del mejor modelo adaptado a la zona
9. Comparar las pérdidas de suelo de la U.S.L.E. vrs M.U.S.L.E. y el Modelo Williams vrs Índice de Fournier y compararlos con los datos reales de erosión medidos en el periodo de estudio

Hipótesis

9. La Ecuación Universal de Pérdida de Suelo "U.S.L.E.", es el modelo de estimación de pérdida de suelo que más se adapta a las condiciones presentes en la microcuenca Wibuse-Jícaro, ubicada en el municipio de San Dionisio, en el departamento de Matagalpa, debido ha que es el modelo que más se ha utilizado con mejores resultados en Nicaragua.

II . REVISIÓN DE LITERATURA

2.1 Definición de Cuenca hidrográfica

Una cuenca es una zona de la superficie terrestre en donde (si fuera impermeable) las gotas de lluvia que caen sobre ella tienden a ser drenadas por el sistema de corrientes hacia un punto de salida. (la microcuenca Wibuse-Jícaro, por el destino final de sus escurrimientos es de tipo endorreica, con un área de 6.94 km²).

La definición anterior se refiere a una cuenca superficial; asociada a cada una de esta existe también una cuenca subterránea, cuya forma en planta es igual a la superficial. De ahí la aclaración de que la definición es válida si la superficie fuera impermeable, Aparicio, (1993), citado por K. Murillo y D. Osorio, (1999).

La cuenca como unidad de planificación toma en cuenta el costo de las obras de conservación de suelos y agua en laderas y las integraciones con los beneficios que este tipo de programa trae a las zonas bajas, tal como la generación de energía y los proyectos de irrigación teniendo por lo tanto influencia en el alcance y evaluación en las decisiones de inversión.

La cuenca hidrográfica concebida como un sistema dentro del medio ambiente, está compuesto por interrelaciones de los sistemas socioeconómicos, demográficos y biofísicos. Faustino, (1996) citado por K. Murillo y D. Osorio, (1999).

2.2 Partes de una cuenca

- Parte agua: es la línea altimétrica de mayor elevación, que delimita orográficamente a cuencas vecinas. Este lindero real marca las variaciones de la conducción del drenaje superficial que por efecto de la pendiente confluye hacia la parte más baja.

- **Red de drenaje:** Es la disposición de los cauces y lechos por donde de manera superficial y aparente corre el agua excedente, producto de la precipitación hacia un depósito natural o artificial.
- **Vertiente del parte - agua o área de captación:** Son las áreas de captación y se constituyen como las zonas más estratégica de la cuenca, dado que en ella la susceptibilidad del fenómeno de la erosión es altamente significativa y el mantenimiento de una cubierta vegetal protectora de calidad es definitivamente indispensable para el equilibrio de los valles.
- **Cuenca baja o valle interior:** Es la zona de menor altitud y donde generalmente se encuentran los cultivos agrícolas y los asentamientos humanos, aquí la conjunción de las corrientes tributarias han formado un río o arroyo de regular caudal y divaga en las planicies de leve pendiente.

2.3 El Estudio de una cuenca

La cuenca como unidad hidrográfica debe ser estudiada desde diferentes aspectos, ya que no basta especificar su delimitación topográfica, su extensión y forma, si no que es necesario efectuar una caracterización integral que permita definir lo que técnicamente es posible realizar en ella, desde el punto de vista de las prácticas de uso del suelo para definir las prescripciones más adecuadas en la administración de los recursos naturales contenidos, para lo cual el agua se convierte en el elemento integrador del estudio.

2.4 Morfología de una cuenca

La morfología de una cuenca se define por tres parámetros:

- Forma
- Relieve
- Red hidrográfica

La forma de la cuenca es un factor de gran significación, dado que una cuenca pequeña y redondeada tenderá a concentrar con mayor rapidez sus escurrimientos, en contra de una alargada que tardará más tiempo en llevarlos a su punto de salida.

La influencia del relieve sobre la escorrentía es aún más evidente. A una mayor pendiente corresponderá una menor duración de concentración del agua de escorrentía de la red de drenaje y afluentes al curso principal.

Se denomina red hidrográfica al drenaje natural, permanente o temporal, por el que fluyen las aguas de los escurrimientos superficiales y subterráneos de la cuenca. Para estudiar el drenaje se analizaron los siguientes parámetros: densidad de drenaje y pendiente media de la microcuenca:

La densidad de drenaje está definida, para una microcuenca dada, como la longitud medida del curso de agua por unidad de superficie. Cuanto mayor es la densidad de drenaje, más rápida será la repuesta de la cuenca frente a una tormenta, evacuando el agua en menor tiempo.

La pendiente media de la microcuenca constituye una característica importante, puesto que condiciona la velocidad del escurrimiento superficial y subterráneo y en un momento dado, predice la erosión que éste produce en función del uso y manejo que se puede dar al suelo de sus vertientes

2.5 Erosión del suelo

La palabra erosión, se deriva del latín erosio que significa roedura, consiste en la pérdida gradual del material que constituye el suelo, al ir siendo arrastradas las partículas (disgregadas, arrancadas y transportadas), a medida que van quedando en superficie.

Los procesos erosivos constituyen un impacto negativo, con resultado de una degradación progresiva del recurso suelo, se caracterizan por ser:

- Relativamente lentos, intermitente, si bien, recurrente a lo largo de los años, lentos porque en relación a la velocidad de formación del suelo deben considerarse relativamente rápidos. Intermitente, porque van asociados a la existencia de lluvia o de viento.
- Progresivos, la disminución progresiva del espesor del epipedón deja en la superficie o cerca de ella horizontes o materiales subsuperficiales cuyas características suelen ser menos favorables para el crecimiento de las raíces y para suministrar nutrientes y agua. Partiendo de una situación en un momento dado, la erosión hace disminuir la capacidad para producir biomasa vegetal, por lo que la protección del suelo disminuye y la importancia de la erosión aumentará de año en año. A largo plazo provoca una disminución de los rendimientos y finalmente el terreno se hace improductivo. Sus efectos son muy notorios en un lapso de tiempo relativamente corto.
- Irreversibles, son procesos endotérmicos, por requerir del consumo de energía, la energía cinética aportada por la lluvia, o el flujo de agua y tienen lugar en un sistema abierto. Por un lado, la masa del suelo perdida suele ser irrecuperable o exige su acarreo y por otro, el tiempo requerido para que se forme suelo es extremadamente largo.

La escala temporal de los procesos edafogénicos es de orden secular o milenario, mientras que para los erosivos es de algunas décadas o a lo sumo siglos. La erosión es un proceso de forma espontánea en la naturaleza, si bien su intensidad varía de unos escenarios a otros. La intervención del hombre hace que la intensidad del proceso pueda verse fuertemente incrementada.

2.6 Procesos de Erosión Hídrica

Atendiendo la forma como tiene lugar la erosión, cabe distinguir procesos de erosión por salpicadura, laminar, arroyadas, cárcavas y barrancos y procesos de sufusión:

- Erosión por Salpicadura

Se debe al impacto de las gotas de lluvia sobre los agregados inestables de un suelo desnudo. Se producen pequeños cráteres, con liberación de partículas. Puede dar origen a un sello y a una costra superficial que harán disminuir la infiltración. Sus efectos son más evidentes cerca de las divisorias de aguas. Pueden dar lugar a la formación de pedestales, en aquellos casos que existe pedregosidad (gravas), matas aisladas o plantas cespitosas.

- Erosión Laminar

Consiste en la pérdida de una capa más o menos uniforme de suelo en un terreno inclinado, afecta a las partículas liberadas por salpicadura. Es poco aparente, se identifica por el hecho que después de una lluvia los elementos gruesos en la superficie aparecen muy limpios.

- Erosión por Arrolladeros, Cárcavas y Barrancos

Las irregularidades del terreno y el mayor caudal vertiente a bajo, hacen que el flujo laminar pase a concentrado. La escorrentía puede fluir concentrada, sin que se formen canales más que a partir de aquella posición en que la fuerza cortante del agua supere la resistencia del suelo. Formando un canal, su crecimiento es rápido y aumenta vertiente a bajo, ya que en el canal aumenta la velocidad.

- Erosión por Sufusión, por Flujo Superficial o Túnel

La existencia de galería de macrofauna (roedores) puede favorecer la circulación subterránea del agua y el progresivo arrastre de partículas, con lo que el orificio se irá agrandando.

La erosión hídrica es el proceso de dispersión, remoción y transporte de partículas de suelo por la acción del agua (Kirkby y Morgan, 1991), citado por (Guido, 1997), actúa de manera selectiva, arrastrando las partículas más finas y más reactivas del suelo: arcilla y materia

orgánica y deja las partículas más gruesas, pesadas y menos reactivas, que provoca una disminución de la concentración de nutrientes: Stocking, (1984), citado por Guido, (1997).

Julio Cesar Guido en su trabajo de diploma evaluación de los factores de la Ecuación Universal de Pérdidas de Suelo en la microcuenca "D" de la cuenca sur del lago de Managua en 1999, con el propósito de estimar las pérdidas de suelo bajo diferentes tipos de cobertura vegetal (maíz y frijol sembrados en contorno), utilizando la metodología de Wischmeier, la Ecuación Universal de Pérdida de Suelo y la metodología de Coshocton de recolección de alicuota, obtuvo datos de pérdidas de suelo de 222.43 ton/ha*año en cultivo del maíz, 184.28 ton/ha*año, en cultivo de frijol y 464 ton/ha*año en la parcela testigo; la investigación se realizó en parcelas de escurrimiento.

2.7 Modelos de Predicción de la Erosión Potencial

Las estrategias de conservación de suelo deben basarse en un conocimiento de las pérdidas potenciales de suelo, cuya importancia será la de justificar las inversiones a realizar y las restricciones que debe autoponerse el agricultor para lograr los objetivos que se propone alcanzar; una agricultura sostenible, que ni degrade el recurso suelo, ni produzca impacto desfavorable sobre el medio ambiente.

La mayoría de los modelos utilizados en erosión de suelo son de tipo paramétricos, basados en la identificación de relaciones estadísticamente significativa, entre variables a las que se atribuye importancia en el proceso erosivo y de las que se posee información.

- **Erosión Potencial**

Se define como la cantidad de suelo que se pierde por erosión, esta se expresa en ton/ha/año, este dato representa la erosión potencial (erosión teórica) de la microcuenca.

- **Erosividad**

Es la capacidad potencial de la lluvia para provocar la erosión. Es función de las características físicas de la lluvia (Intensidad y duración), Mendoza, (1994).

- **Erodabilidad**

Es la vulnerabilidad o susceptibilidad del suelo a la erosión. Es función, tanto de las características físicas del suelo como de la cubierta vegetal de éste, Hudson, (1982), Mendoza, (1994).

2.8 Ecuación Universal de Pérdida de Suelo (U.S.L.E.)

Es el método de uso más amplio para la estimación de pérdida de suelo utilizado por los conservacionistas, la cual se expresa de la siguiente manera:

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

Donde:

A: Pérdidas de suelo (ton/ha*año)

R: Factor Erosividad por Precipitación Pluvial

El factor de erosividad por precipitación pluvial, es el índice de erosión de la precipitación pluvial, y se define como el producto de dos características de la lluvia tempestuosa: la energía cinética y la intensidad máxima en 30 minutos.

El producto de estas dos características es un término recíproco que mide el efecto de manera particular en que la erosión por salpicadura y la turbulencia se combinan con el escurrimiento para llevarse del terreno las partículas de suelos separada de éste; este producto (Energía por Intensidad) se denomina índice de erosividad de la lluvia, o valor EI30 y fue determinado por Wischemeier en 1958; se considera el indicador más exacto para medir el potencial de un aguacero que causa erosión en un suelo en barbecho. (MJ*mm/ha/hr*año).

K: Factor Erodabilidad del Suelo

El factor erodabilidad del suelo “K”, es una descripción cuantitativa de la erodabilidad inherente de un suelo determinado. Este factor refleja el hecho de que diferentes suelos se erosionan a diferentes tasas cuando los demás factores que afectan la erosión son los mismos. Las propiedades del suelo que afectan la tasa de infiltración como permeabilidad, capacidad hídrica total, dispersión, abrasión y fuerza de transporte, también afectan la erodabilidad. Para un suelo determinado el factor erodabilidad del suelo “K”, es la tasa de erosión por unidad de índice de erosión a partir de una parcela estándar. (Ton/ha*año/MJ*mm/ha/hr).

L y S: Factor Longitud y Gradiente de la Pendiente

Los efectos de la longitud y el gradiente de la pendiente se representan como L y S respectivamente; sin embargo, a menudo se evalúan como factor topográfico único, L*S. La longitud de la pendiente se define como la distancia desde el punto de origen del flujo sobre la superficie hasta el punto donde la pendiente disminuye lo bastante como para que ocurra la deposición o hasta el punto en que la escorrentía entra en un canal definido. El canal puede ser parte de una red de drenaje a un canal construido. El gradiente de la pendiente es el segmento de la pendiente, expresado generalmente como un porcentaje. (adimensional).

C: Factor Cobertura Vegetal

Esta clasificación está basada en el grado de protección que la cobertura vegetal da al suelo. Comprobado la influencia de la vegetación en el control de las avenidas y en los procesos de erosión del suelo, se debe definir un coeficiente que de una idea acerca del grado de protección que brinda al suelo la cobertura vegetal.

Debido al hecho de que la acción protectora de la cubierta vegetal depende, de su naturaleza, es por lo que habrán que distinguirse distintos grados de protección al suelo, de acuerdo a las diferentes formas de vegetación.

La vegetación arbórea, constituye la más eficaz protección al suelo, tanto por la acción amortiguadora (intercepción) que ejercen las copas de los árboles al momento de caer la lluvia, disminuyendo la energía cinética de las gotas de lluvia, como por la profundidad que alcanzan sus raíces, manteniendo de este modo estable al suelo.

La acción de los arbustos es importante dado que en muchos casos su gran densidad y potente sistema radicular contribuyen al frenado de la escorrentía superficial. (adimensional).

P: Factor Prácticas de Conservación de Suelos y Agua

El factor de método de control de la erosión, es la proporción de la pérdida de suelo cuando se hace uso de alguna práctica específica en comparación con la pérdida de suelo cuando se cultiva en laderas de las colinas. Los métodos de control de la erosión que por lo general se incluyen en este factor son: cultivo en contorno, cultivo en fajas de contorno y el terraceo, incluyendo canales de desviación e interceptores del escurrimiento como parte necesaria de éstas prácticas. (adimensional).

La ecuación ($R * K * L * S * C * P$), se llamó universal porque estaba exenta de algunas de las generalizaciones y restricciones geográficas y climáticas inherente en los primeros modelos. Esta ecuación se desarrolló de datos de más de cuarenta años que se obtuvieron en parcelas pequeñas, localizadas en distintos lugares de E.E.U.U. Se utiliza en la determinación de las medidas adecuadas para conservar y planificar el cultivo y para predecir las pérdidas indefinidas de sedimentos en programas de control de la contaminación. A pesar de la simplificación de las muchas variables implicadas, la ecuación universal de pérdida de suelo es el método más aceptable para estimar las pérdidas de sedimentos Schawb et al., (1990), citado por Guido, (1997). Se desarrolló como un método para predecir la pérdida promedio anual de suelo procedente de la erosión

en interarroyuelos y arroyuelos al poder disponer de los valores de los parámetros, las alternativas de cultivo y de manejo pueden determinarse para reducir la pérdida de suelo

estimada a los valores de tolerancia sugeridos para el tipo de suelo, según Wischmeier (1976), citado por Guido, (1997) la Ecuación Universal de Pérdida de Suelo puede utilizarse adecuadamente para:

- Predecir la pérdida anual de suelo de una pendiente en un campo con condiciones específicas para uso de la tierra.
- Servir como guía en la selección de sistemas de cultivo y manejo y de prácticas de conservación para suelos y pendientes específicas.
- Predecir el cambio en la pérdida de suelo que resultaría de un cambio en las cosechas de conservación sobre un campo específico.
- Determinar como pueden aplicarse o alternarse las prácticas de conservación para permitir un cultivo más intensivo.
- Estimar las pérdidas de suelo en áreas con uso de suelo distinto al agrícola.
- Obtener estimaciones de pérdida de suelo para que los conservacionistas determinen las necesidades de conservación. Kirby y Morgan, (1991), citado por Guido, (1997).

Ventajas y limitaciones de la Ecuación Universal de Pérdida de Suelo USLE

Ventajas:

- Planificación y conservación adecuada de los cultivos
- Predice las pérdidas indefinidas de sedimento
- Simplificación en muchas de sus variables
- Amplia adaptación bajo diferentes condiciones
- Facilidad de su aplicación

Limitaciones:

- Se recomienda utilizar a largo plazo
- La ecuación se diseñó para predecir pérdidas de suelo asociadas con erosión laminar y en surco; no corresponde a producción de sedimento de un campo

- Los valores obtenidos con la ecuación corresponden a las mejores estimaciones posibles, no son valores absolutos
- La ecuación predice pérdida promedio anual de suelo en un campo específico y bajo condiciones y prácticas dadas de manejo

2.9 Ecuación Modificada de Pérdida de Suelo “ M.U.S.L.E.”

La Ecuación Modificada de Pérdida de Suelo (MUSLE) fue desarrollada por Williams J. R. en 1975, la cual es un modelo de parámetros “agrupados” que estima el rendimiento de sedimentos en una cuenca para un evento pluvioso único y utiliza un factor de escurrimiento para reemplazar el factor de energía pluvial de la Ecuación Universal de Pérdida de Suelo. Esta ecuación se recomienda utilizar en cuencas que tengan una superficie alrededor de 100 km², cuando las cuencas presentan homogeneidad en los factores integrantes del modelo, en caso contrario se recomienda utilizar en pequeñas cuencas 25 km². El modelo esta integrada por los siguientes componentes:

$$Y = 11.8 * (Q * q_p)^{0.56} * K * L * S * C * P$$

Donde:

Y: Rendimiento de sedimento de la cuenca (ton/ha/año)

Q: Volumen de escurrimiento por tormenta (m³)

q_p: Velocidad máxima del caudal (m/s)

11.8: Factor de conversión

K: Erodabilidad del suelo, en (ton/ ha* año/ MJ* mm/ ha/ hr), calculado a través del nomograma de Wischmeier, (1971), modificado por Foster, (1981)

Los factores (L, S, C y P) son iguales a los de la Ecuación Universal de Pérdida de Suelo.

2.10 Modelo de Williams

Para evaluar los sedimentos que un aguacero determinado puede producir en la zona inundada, Williams en (1975), estableció el siguiente modelo parametrico:

$$T = 3.25 * (A * Q * Q_p)^{0.56} * K * L * S * C * P$$

Donde :

T: Sedimentos producidos en el área inundada (ton/ha/año)

A: Superficie inundada (ha)

Q: Escorrentía de la cuenca vertiente (mm)

Q_p: Caudal punta producido por la escorrentia en el tramo en m³/s

3.25: Factor de conversión

Los factores (K, L, S, C y P), son factores ya estudiados en el modelo de la Ecuación Universal de Pérdida de Suelo correspondiente al área inundada. Generalmente "P", tiene un valor de uno, ya que no existen prácticas de control de la erosión, L y S tienen valores bajos por tratarse de vegas donde la pendiente es casi nula.

Cuando se aplica dicho modelo a la estimación de la pérdida de suelo en los cauces, el área afectada será el producto de la longitud del tramo que se considere por su anchura media. En este caso el factor L y S, suele ser relativamente alto, ya que la longitud lo es, la pendiente es la resultante de la que corresponde al lecho y a los taludes. También los valores de C suelen ser relativamente altos sino existe vegetación en el cauce. Como en el caso de área inundada, el factor "P" es igual ha uno porque no hay prácticas de control de la erosión. El factor más crítico en los cauces es el suelo "K", si el cauce es estable, deberá ser muy bajo; en general, hace falta investigar sobre este factor en cauces.

2.11 Índice de Fournier

Si se analiza el fenómeno de la erosión hídrica del suelo, es evidente que su origen está en la erosión y transporte de las partículas de suelo por salpicadura y escorrentía, ligada a la intensidad, duración y frecuencia de la lluvia. Los otros factores suelo, relieve y vegetación; solo favorecen o controlarán la acción de la precipitación.

El factor vegetación es de importancia capital. Sus influencias múltiples, para el tipo de cubierta, densidad y continuidad, están ligadas a la humedad, factor principal del crecimiento. Así, al estudiar la erosión hídrica en una cuenca hidrográfica, es muy difícil separar el clima de la vegetación, porque ellos están ligados por una relación causal. En

resumen, si bien los diferentes factores de la erosión del suelo están definidos, existe una jerarquía en ellos y es la precipitación atmosférica la que ejerce una influencia predominante.

Desde esa perspectiva, Fournier, elige la precipitación atmosférica como factor fundamental para evaluar la degradación de una cuenca, es decir, los sedimentos que llegan a una sección determinada.

Ante la escasez de datos sobre erosión a nivel mundial, Fournier (1960), estableció para cuencas fluviales una nueva variable, la degradación específica (DS), en $\text{ton}/\text{km}^2/\text{año}$, la cual se refiere a la cantidad de sedimento que salen anualmente de una cuenca.

Otro aspecto, en la investigación que Fournier abordó en “climat et erosión” (1960), era la adopción de datos sobre la erosión del suelo por agua. Los datos procedentes de mediciones directas en parcelas experimentales eran insuficientes. Basta considerar las variables posibles. Los procedentes de aforos de caudales sólidos efectuados en los cursos de agua respondían en general a materiales transportados en suspensión.

El método empleado por Fournier fue el análisis gráfico, consiste en hacer un gráfico llevando en coordenadas los valores que expresan la intensidad de un factor de la precipitación y la medida de éste a través de la degradación específica ($\text{ton}/\text{km}^2 \cdot \text{año}$).

Del análisis realizado por Fournier resulta que:

$$y = p^2/p$$

Donde:

y: Índice de Fournier (mm)

p^2 : Precipitación media máxima mensual al cuadrado (mm)

p: Precipitación media anual (mm).

Investigó Fournier otros factores, además del p^2/p que denomina “índice de agresividad del clima”, su investigación se centró en el relieve y el clima.

El factor relieve utilizado fue el coeficiente orográfico (CO)

$$CO = h * tg$$

Donde:

CO: Coeficiente Orográfico

h: Altitud media de la cuenca (metros)

tg: Pendiente media de la cuenca (%)

Según sus investigaciones, $h * tg > 6$, corresponde a relieve accidentado, $h * tg < 6$ relieve poco accidentado

El resultado de su investigación y estudio estadístico consiguiente; para obtener las ecuaciones de regresión lineal de las cuatro agrupaciones obtenidas fue:

$$\text{Agrupación A: } y = 6.14 * x - 49.78$$

Donde:

y: Degradación específica (ton/ km²* año)

x: Coeficiente de Fournier (mm)

La agrupación A, es aplicable a microcuencas de relieve poco acentuado ($h * tg < 6$) y porta valores de p^2/p

$$\text{Agrupación B: } y = 27.12 * x - 475.4$$

Donde:

y: Degradación específica (ton/ km²* año)

x: Coeficiente de Fournier (mm)

La agrupación B, es aplicable a microcuencas de relieve poco acentuado ($h * tg < 6$) y para valores de p^2/p superiores a 20.

$$\text{Agrupación C: } y = 52.49 * x - 513.21$$

Donde:

y: Degradación específica (ton/ km²* año)

x: Coeficiente de Fournier (mm)

La agrupación C, es aplicable a microcuencas de relieve acentuado ($h * tg > 6$), situado en todos los climas, excepto los semiáridos.

$$\text{Agrupación D: } y = 91.78 * x - 737.62$$

Donde:

y: Degradación específica (ton/ km²* año)

x: Coeficiente de Fournier (mm)

La agrupación D, es aplicable a microcuencas de relieve acentuado situados en climas semiáridos.

En cuanto al clima se utiliza la clasificación Turc (u.t.2.):

$$E = p / (0.9 + p^2 / L_2)$$

$$L = 300 + 25 * T + 0.05 * T_3$$

Donde:

P: Precipitación media anual (mm).

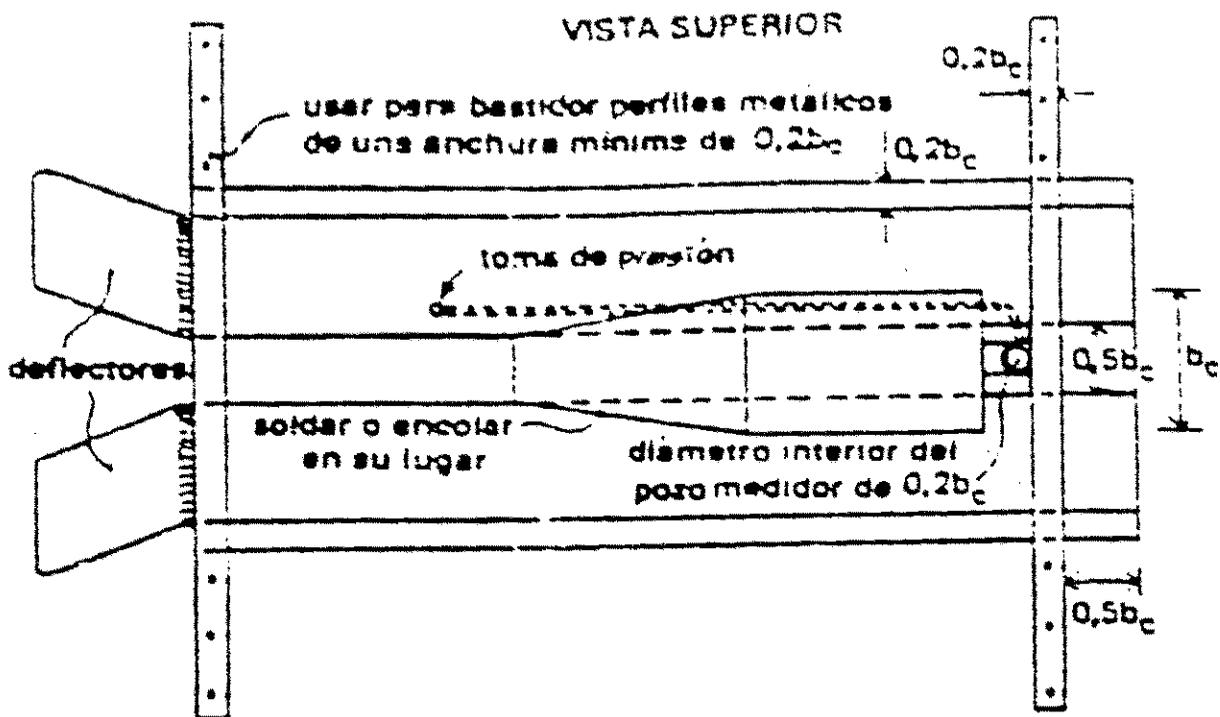
T: Temperatura media del año (° c).

2.12 Aforadores Portátiles

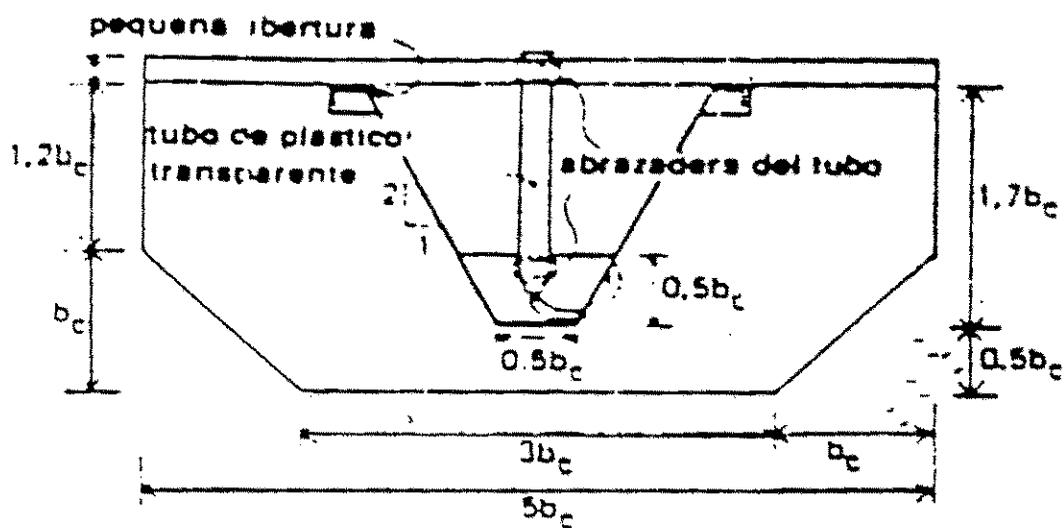
Para trabajos de campo es conveniente utilizar las versiones portátiles de los aforadores. Pueden utilizarse para medir el caudal de agua que entra en una explotación de tamaño medio, en un grupo de parcelas, en una parcela o en un surco; igualmente son utilizados para conocer el agua que sale de una parcela con riego.

Su tamaño y peso están limitados, como es obvio, por la condición de que debe ser transportado por una o dos personas a, o desde, el lugar donde se realiza la medida en un momento dado. En consecuencia, también queda limitado el máximo caudal que puede medir, (vea figura 1, pág. 19)

Figura.1.- Aforador portátil RBC para canales de tierra



VISTA POSTERIOR



La FAO en (1980) tomando en cuenta la falta de técnicas y metodologías que permitieran comparar los efectos de varios tipos de degradación de los suelos y sabiendo que no es posible su comparación directa, desarrolló la presente clasificación.

Tabla 1. Clasificación de la degradación de los suelos causadas por erosión hídrica

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

Fuente: FAO, (1980)

2.13 Estimación de la escorrentía de diseño

La escorrentía de diseño es la lámina de exceso de agua superficial que hay que evacuar en el tiempo de drenaje, (td). Para estimar la escorrentía, generalmente se utiliza el método del "numero de curva" del Soil Conservation Service (1972b), citado por Grassi, (1991), a partir de la siguiente formula:

$$E = (Pd - 0.2*s)/(Pd + 0.8*s)$$

Donde:

E: Escorrentía de diseño (cm)

Pd: Lluvia de diseño (cm)

s: Infiltración potencial (cm)

Por otra parte, s se obtiene a partir de la siguiente formula:

$$s = (100/CN-10) * 2.54$$

Donde:

CN: Número de curva

El número de curva (CN), depende del tipo de suelo, del cultivo y de la condición hidrológica. Las tablas 38 y 39, (vea anexo), se utilizan para obtener el CN en base a la información antes mencionadas. Para ello los suelo se agrupan como A,B,C y D, de acuerdo a la clasificación hidrológica que se presenta en la tabla 3. La condición hidrológica depende de la cobertura vegetal, tal como sigue:

Tabla 2. Tipo de condición hidrológica de acuerdo al porcentaje de cobertura vegetal

Porcentaje de cobertura vegetal	Condición hidrológica
Cobertura mayor de 75%	Buena
Cobertura entre 50 y 75%	Regular
Cobertura menor de 50%	Mala

Fuente: Soil Conservation Service, (1972b), citado por Grassi, (1991)

Los grupos hidrológicos en que se pueden dividir los suelos son utilizados en el planeamiento de microcuenca para la estimación de la escurrimiento a partir de la precipitación. Las propiedades de los suelos que son considerados para estimar la tasa mínima de infiltración para suelos desnudos, luego de un humedecimiento prolongado, son: profundidad del nivel freático de invierno, infiltración y permeabilidad del suelo de humedecimiento prolongado y profundidad hasta un estado de permeabilidad muy lenta.

Los suelos han sido clasificados en cuatro grupos: A, B, C y D de acuerdo al potencial de escurrimiento.

Tabla 3. Clasificación hidrológica de los suelos

Tipo de suelo	Interpretación
A (Bajo potencial de escorrentía)	Suelos con alta tasa de infiltración (3 a 4.5m/d), vea anexo 5, aún cuando muy húmedos. Arenas o gravas
B (Moderadamente bajo potencial de escorrentía)	Suelos con tasa de infiltración moderada (0.5 a 1.5 m/d), cuando muy húmedos. Suelos con textura moderadamente fina
C (Moderadamente alto potencial de escorrentía)	Suelos con infiltración lenta (0.03 a 0.12 m/d), cuando muy húmedos. Textura moderadamente finas a finas.
D (Alto potencial de escorrentía)	Suelos con infiltración muy lenta (<0.03 m/d), muy húmedos. Suelos arcillosos, con infiltración muy lenta

Fuente: Soil Conservation Service, (1972b), citado por Grassi, (1991)

- **Condición de Humedad Antecedente**

Se refiere al estado de humedad del suelo previo a la lluvia en estudio, considerando la cantidad de lluvia caída en el periodo de cinco días anteriores. Se establecen tres clases con relación a dicha cantidad que se presentan en la siguiente tabla:

Tabla 4. Condición de humedad antecedente de acuerdo a la precipitación acumulada en cinco días anteriores

Condición de humedad antecedente	Precipitación acumulada de los 5 días (mm)
I	0.0 a 33.0
II	33.0 a 52.5
III	> 52.5

Fuente: Duque, (1985)

2.14. Tolerancia de pérdida de suelo

Schertz, (1983), citado por Guido, (1997), cita el origen del valor de tolerancia asignado a los suelos de los Estados Unidos de América, en 12 ton/ha/año, proviene de un suelo profundo, de textura media, moderadamente permeable y con características del subsuelo favorables para el crecimiento de las plantas, para un valor de densidad aparente de 1.2 g/cc.

El producto de la lamina de suelo perdida (0.001 m/año) por los metros cuadrados que tiene una hectárea (10,000 m²) daría el volumen de suelo perdido (10 m³/año), el cual al multiplicarlo por la densidad aparente (1.2 ton/m³) daría el valor de la tolerancia de 12 ton/ha/año.

Mannering, (1981), citado por Guido, (1997), desarrolla una tabla para representar los niveles de tolerancia de pérdida de suelo, según la profundidad del suelo sin restricciones al desarrollo radicular.

Tabla 5. Tolerancia de pérdida de suelo en su profundidad

Profundidad del suelo (cm)	Tolerancia (ton/ha/año)
0.0 a 25	0 a 4
25 a 50	4 a 8
50 a 100	8 a 12
100 a 150	12 a 16
150 a 200	16 a 20
>200	>20

Fuente: Mannering, (1981), citado por Guido, (1997).

III. MATERIALES Y METODOS

3.1 - Descripción del Area de Estudio

El presente estudio se desarrolló en la microcuenca del río Wibuse-Jícaro, que forma parte de la subcuenca del río Calico, que a su vez pertenece a la cuenca del río Grande de Matagalpa, la cual comprende 3 subcuencas: río Tapasle-Bulbul, Los Cábanos Olama y el río Calico. La subcuenca del río Calico comprende 15 microcuencas; entre las cuales se encuentra la microcuenca Wibuse-Jícaro (Vea anexo N^{ro} 7).

La microcuenca abarca desde la comunidad de Santa Martha hasta llegar al municipio de San Dionisio, San Dionisio cuenta con una área de 144 Km². El Municipio de San Dionisio está ubicado a 165 Kilometros. de Managua y a (40 Kilometros) de la ciudad de Matagalpa, sus coordenadas geográficas son: 12° 55' 58" de latitud Norte y 85° 31' 10" de longitud Este, INIFOM, (1992); Barreto, (1997), citado por Luna, (2000).

La microcuenca tiene una superficie de 6.94 km², limita al norte con Susuli y el Jicaro N^{ro} 2, al sur con el Valle los Limones, al este con la comunidad Santa Martha y al oeste con el Municipio de San Dionisio, (Ver mapa de limites).

3.2 Informacion Socioeconómica

La microcuenca esta habitada por un total de 950 habitantes, y tiene una densidad poblacional de 136.9 habitantes por Km², tomado de Espinoza y Vernooy, (1998).

La mayor parte de los habitantes se dedican a la agricultura (maiz, frijol, musaceas, hortalizas, café con sombra) y una pequeña parte de la población se dedica a la ganadería. Es una zona semiárida explotada con ganaderia extensiva y habitada por una población de 950 habitantes (Ministerio de Accion Social,1997),citado por Espinoza y Vernooy, (1998) sumamente pauperizada y predominantemente campesina dedicada a la producción de granos básicos de ciclo corto, maiz y frijol, NITLAPLAN (1996), Barreto, (1997), citado por Luna, (2000).

MATAGALPA



MAPA DE LIMITES, SUBCUENCA DEL RIO CALICO, MICROCUENCA WIEUSE-JICARO I. SAN DIONISIO, MATAGALPA.

La actividad agropecuaria está relacionada con las características agroclimáticas de la zona principalmente la pendiente y altitud del terreno. De acuerdo a estos parámetros la microcuenca se ha dividido en tres partes. La parte baja donde predominan pendientes que oscilan de 8 a 20% (Ver mapa de pendiente), explotada con agricultura (maíz, frijol, hortalizas y pequeñas áreas de pasto), la parte media con pendientes que oscilan de 20 a 45%, en esta zona se encuentra la mayor parte de pasto natural y mejorado, pequeñas áreas de maíz y frijol y pequeñas áreas de bosque y la parte alta donde predominan pendientes mayores de 45%, cultivos predominante como café con sombra, pasto y reservas de bosque.

Los principales cultivos que se siembran en la microcuenca Wibuse - Jícaro, se presentan a continuación:

- **Parte baja**

Autoconsumo: maíz, frijol y millón.

Comercio: hortalizas

- **Parte media**

Autoconsumo: maíz, frijol y musaceas.

Comercio: hortalizas.

Exportación: pequeñas áreas de cultivo de café.

- **Parte alta**

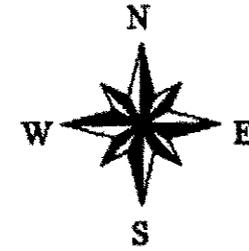
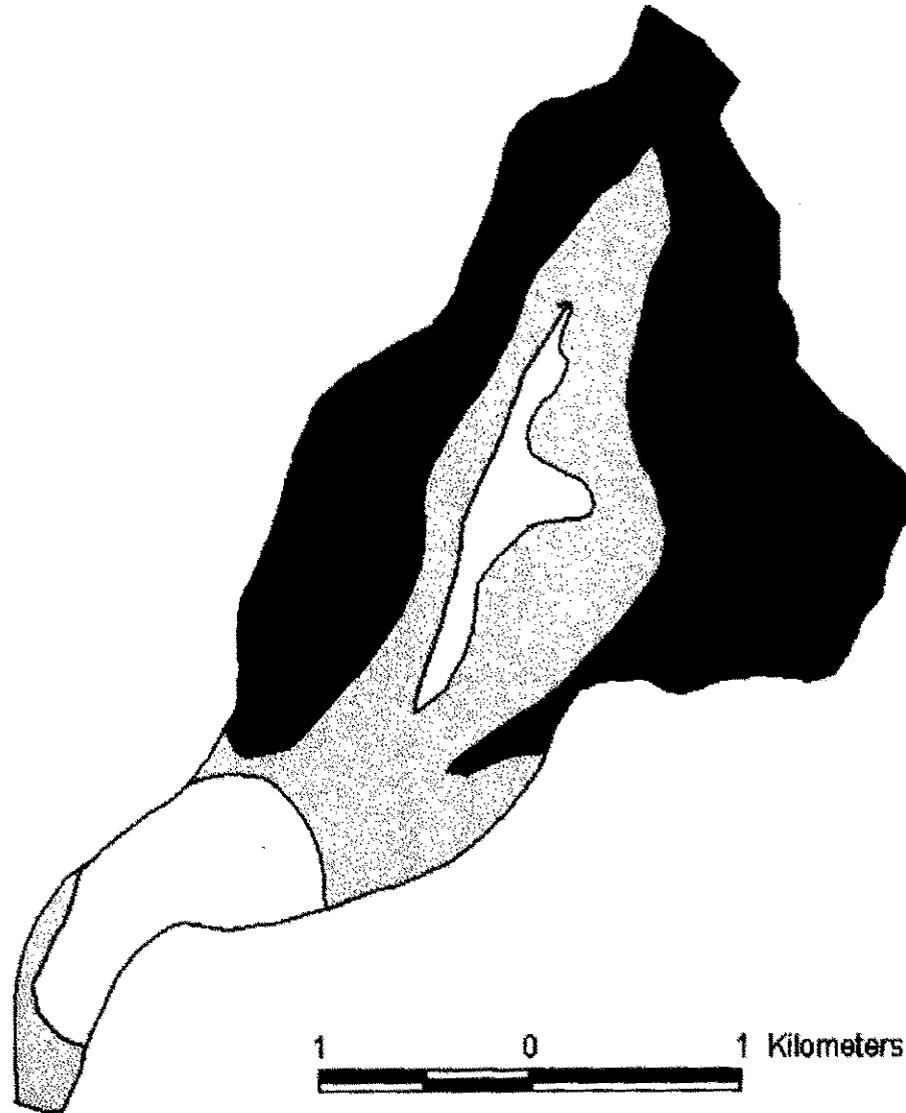
Autoconsumo: pequeñas áreas de maíz, frijol y cítricos.

Comercio: pequeñas áreas de hortalizas.

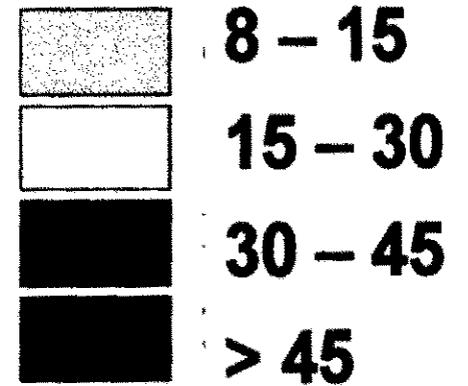
Exportación: aquí se concentra la mayor zona cafetalera de la microcuenca.

De acuerdo al diagnóstico realizado por la Universidad Nacional Agraria (Quinto Año de Suelos y Agua, dirigido por la ingeniera Matilde Somarriba Chang, en 1999), la comunidad Wibuse-Jícaro, presenta los siguientes problemas:

- Alto grado de pérdida de suelo
- Baja fertilidad de los suelos
- Tenencia de la tierra en manos de un pequeño grupo de pobladores
- Falta de asistencia técnica por parte de organismos nacionales e internacionales



Pendientes



MAPA DE PENDIENTES, SUBCUENCA DEL RIO CALICO, MICROCUENCA WIBUSE-JICARO 1. SAN DIONISIO, MATAGALPA.

La asistencia técnica se limita a instituciones como Cooperativa de Ayuda Remesas al Exterior (CARE), Programa Campesino a Campeino (PcaC), Comunidad indígena, Liga de Cooperativade de los Estados Unidos (CLUSA), ODESAR y el Centro Internacional de Agricultura Tropical (CIAT-Laderas), quienes se encargan de brindar capacitación, préstamos en efectivo o proporcionar algunos insumos.

3.3 Características Biofísica

3.3.1 Clima

El clima va de seco a semi-árido con un régimen de lluvia deficitario, de 800 a 1100 milímetros anuales, o más abundante, hasta un máximo de 1600 milímetros, pero mal distribuidos a lo largo de los siete meses que dura la época lluviosa. La temperatura promedio oscila entre los 21.0°C y los 24°C, NITLAPLAN (1996), Barreto, (1997), citado por Luna, (2000).

3.3.2 Suelos

En esta región predominan los suelos del orden Mollisol y Vertisol, éstos suelos van desde poco profundos a profundos. El potencial de uso es amplio y han sido probado por los productores (as) en forma intensiva y semi-intensiva, en cultivos anuales y perennes, Téllez y Echegoyen, (1996), citado por Luna, (2000).

3.3.3 Geología

El área de la microcuenca, pertenece a la provincia fisiográfica "Tierras Altas del Interior", se encuentra dentro de la formación geológica coyol, CATASTRO, (1971), citado por Luna, (2000).

El grupo Coyol tiene aproximadamente 13.8 millones de años, surgió en la época del mioceno, con aproximadamente 25 millones de años al plioceno de aproximadamente 6 millones de años, en el periodo terciario, de la era cenozoica. se divide en dos grandes subgrupos: Coyol inferior y Coyol superior. Ya que se pueden diferenciar por el contenido litológico y la posición estratigráfica.

- El subgrupo Coyol inferior esta constituido por flujos de ceniza andesitas, dasitas

y tobas sedimentarias, flujos andesíticos y depositos piroclásticos.

- El subgrupo Coyol superior esta constituido por depositos aglomerados y flujo de lava. Flujos de cenizas andesitas o riolitas, flujo de basalto y depósito de aglomerados, CATASTRO, (1972), citado por Luna, (2000).

3.3.4 Relieve

El relieve está formado en su mayoría por terrenos ondulados o quebrados; con altitudes que varían de 400 a 1000 msnm aproximadamente, con pendientes que varían de 2% a mayores de 45%, CIAT- Laderas, (1999).

3.4 PROCESO METODOLÓGICO

3.4.1 Etapa de precampo

- **Morfometría de la microcuenca**
- Se utiliza mapa topográfico a escala 1: 50,000 (1958) INETER, San Dionisio, Matagalpa y el mapa de uso actual y uso propuesto escala 1: 25,000, Donny Osorio y Karla Murillo, (1999).

Procedimiento

Se utilizó el mapa topográfico escala 1:50,000 para la digitalización en pantalla de:

- Delimitación de la microcuenca a mano alzada, en un mapa topográfico de acuerdo a la forma de las curvas a nivel
- Curvas a nivel
- Mapa de límites
- Cálculo de pendiente
- Mapa de red hidrográfica
- Determinación del área total y parcial, utilizando el planímetro
- Se determina el orden de los tributarios

Se utiliza el mapa de uso actual y uso potencial escala 1:25,000 para la digitalización en pantalla del mapa de uso actual y uso propuesto de la microcuenca Wibuse-Jicaró, San Dionisio, Matagalpa.

Determinación de la forma de la microcuenca, para ello se utilizó el índice de Gravelius:

$$k = \frac{0.28 * P}{\sqrt{A}}$$

Donde:

k: Índice de compacidad

p: Perímetro de la microcuenca, en (km).

A: Area de la microcuenca, (km²)

Tabla 6. Tipos de forma de acuerdo a la cuantificación del Índice de Gravelius

Clases	Rangos	Interpretación
K1	1.0 a 1.25	Forma casi redonda a oval-redonda
K2	1.26 a 1.50	Forma de oval-redonda a oval-oblonga
K3	1.51 a 1.75	Forma de oval-oblonga a rectangular-oblonga

Fuente: Báez, 1998

Determinación del relieve, para ello se utiliza el parámetro del alejamiento medio de la microcuenca, el cual es un coeficiente que relaciona el curso de agua más largo con la superficie de la microcuenca, se determina a partir de la formula siguiente:

$$a = L/A^{0.5}$$

Donde:

a: Alejamiento medio de la microcuenca

L: longitud del curso de agua más largo (km)

A: Superficie de la microcuenca (km²)

Determinación del drenaje natural, para ello se analizaron los siguientes parámetros:

Densidad de drenaje, la cual se define como la longitud media del curso de agua por unidad de superficie y se determina aplicando la formula siguiente:

$$Dd = \sum Li / A$$

Donde:

Dd: Densidad de drenaje

\sum Li: Sumatoria de la longitud de todos los tributarios (km)

A: Area de la microcuenca (km²)

Determinación de la pendiente media de la microcuenca, para ello se utiliza el método propuesto por Horton el cual se explica a continuación:

Se trazan cuadrículas sobre el plano a analizar, luego se numeran las cuadrículas, ubicando el cero en la parte inferior izquierda. Se cuentan el número de intersecciones y tangencias de cada línea con las curvas de nivel y se mide la longitud dentro de la microcuenca.

Para obtener la pendiente media se utiliza la fórmula siguiente:

$$S_x = N_x \cdot D_n \cdot 1.57 / L_x \cdot 100$$

$$S_y = N_y \cdot D_n \cdot 1.57 / L_y \cdot 100$$

$$S_{xy} = (S_x + S_y) / 2$$

Donde:

S_{xy} : Pendiente media de la cuenca (%)

S_x : Pendiente en el eje x (%)

N_x : Intersecciones en el eje x

D_n : Diferencia de nivel entre curva y curva consecutiva (mt)

1.57: Factor práctico recomendado por Horton para el cálculo de pendientes en trabajos de alta precisión

L_x : Longitud en el eje x (km)

S_y : Pendiente en el eje y (%)

N_y : Intersecciones en el eje y

L_y : Longitud en el eje y (km)

- **Determinación de los factores de la Ecuación Universal de Pérdida de Suelo "USLE"**

Determinación del Factor Erosividad de la LLuvia "R" anual

El valor de erosividad de la lluvia se calcula como el producto de la energía cinética del evento (M_j mm/ha) y su intensidad máxima en 30 minutos (mm/ha). Su valor se obtiene mediante la siguiente ecuación (Wischmeier, 1978), citado por (Mendoza, 1994):

$$R = \sum EI_{30}$$

Donde:

E: Energía total para un evento de precipitación, expresada por la siguiente fórmula:

$E_c = 0.119 + 0.087 \log_{10} (I)$, (E_c : Energía cinética y su ecuación se obtiene de la velocidad de las gotas de lluvia y de el tamaño de estas).

I30: Es la sumatoria de intensidad máxima para cada intervalo de un evento en 30 minutos.

Determinación del Factor Erodabilidad del Suelo (K)

La evaluación de este factor se determinó a través del nomograma de erodabilidad de (Wischmeier, 1971), su estimación se realiza determinando los valores de:

- Textura
- Materia Orgánica
- Estructura del suelo
- Permeabilidad

Determinación del subFactor Longitud de Pendiente, para ello se utiliza la siguiente ecuación:

$$L = (X/22.13)^m, \text{ (ecuación 22)}$$

Donde:

L: factor longitud de pendiente, (adimensional)

X: longitud de la pendiente, en (m)

22.13: factor de conversión.

m: constante que depende de la inclinación de la pendiente.

El exponente m toma valores en función de la gradiente (g) de la pendiente: 0.2 si $g < 1$, 0.3 si $1 < g < 3$, 0.4 si $3 < g < 5$, 0.5 si $5 < g < 10$ y 0.6 si $10 < g < 50$ (Wischmeier, 1978), citado por (Mendoza, 1994)

Determinación del sub-factor gradiente de la pendiente (S), para ello se utiliza la siguiente fórmula:

$$S = 0.43 + 0.3s + 0.043 s^2 / 6.613$$

Donde:

S: factor gradiente de la pendiente (adimensional)

s: pendiente del terreno, en (%)

6.613: factor de conversión

Determinación del Factor Cubierta Vegetal (C)

Para realizar el análisis de este factor en la Ecuación Universal de Pérdida de Suelo se utiliza el mapa de uso actual de la microcuenca generado con la delimitación y anteponiéndolo al mapa de uso actual obtenidos por los ingenieros Donny Osorio y Karla Murillo (1999), con el propósito de conocer los tipos de vegetación existente y posteriormente determinar el índice de protección total que brinda al suelo la cubierta vegetal, para ello se procede de la siguiente manera:

- Clasificar la cobertura vegetal de acuerdo al mapa de uso actual
- Utilizar la información contenida en la tabla 2 con el objetivo de determinar el símbolo correspondiente a cada tipo de cobertura vegetal predominante en la microcuenca y el respectivo índice de protección que brinda al suelo cada una de ellas.
- Este valor oscila entre (0 y 1), el valor de cero corresponde a suelos totalmente erosionados o desnudos y el valor de uno para bosques densos sin erosión.
- Calcular el área en (ha) para cada tipo de cobertura vegetal existente, la sumatoria de todas las áreas parciales de cada cobertura vegetal tiene que ser igual al área total de la microcuenca.
- Determinar el índice de protección (IP), para cada tipo de cobertura vegetal.
- Multiplicar cada una de las áreas por el correspondiente índice de protección de las diferentes formas de cobertura vegetal existentes, estos valores parciales posteriormente se suman.
- Dividir el valor obtenido en el paso anterior entre el valor del área total de la microcuenca.

Tabla 7. Símbolos utilizados para el índice de protección total

Índice de protección total	Interpretación
1	Alta protección
0.8 - 0.99	Alta protección
0.6 - 0.79	Alta protección
0.4 - 0.59	Moderada protección
0.2 - 0.39	Baja protección
0.00 - 0.19	Baja protección
0.0	Baja protección

Fuente: Hidalgo, 1993, citado por Obregón, 1999

Tabla 8. Símbolos de las diferentes cobertura vegetal.

Símbolo	Tipo de cobertura vegetal	Índice de protección
	Vegetación leñosa	
1a	Bosques densos (sin erosión del suelo)	1.0
1b	Bosques claros (densidad 0.3-0.7) con sustrato herbáceo denso	0.8-0.9
1c	Bosques claros con sustratos herbáceos degradados y erosión	0.4-0.6
2a	Matorral (monte bajo) sin erosión del suelo	0.8-0.9
2b	Matorral degradado, con erosión aparente del suelo	0.4-0.5
	Vegetación Herbácea	
3a	Pastizales completos de plantas viváceas sin erosión del suelo	0.8-0.9
3b	Pastizales degradados de plantas viváceas con erosión aparente	0.4-0.5
3c	Pastizales anuales completos con indicios de erosión aparente	0.35-0.45
3d	Pastizales anuales degradados, con erosión patente	0.3-0.4
4	Terrenos totalmente erosionado, desnudos	0.0
	Tierras cultivadas	
5a	Cultivos anuales sobre terrazas	0.7-0.8
5b	Cultivos anuales sin terrazas	0.2-0.4
6	Cultivo de plantas leguminosas forrajeras	0.6-0.8
7a	Huertos sobre terrazas	0.8-0.9
7b	Huertos sin terrazas	0.5-0.6
8	Terrenos planos o casi planos	1.0

Fuente: Hidalgo, 1993

Determinación del Factor Prácticas de Conservación de Suelos (P)

La evaluación de este factor se determina a través del uso de la tabla de la USLE, propuesta por Wischmeier y Smith, (1978), citado por Mendoza, (1994), tomando en cuenta la pendiente del terreno y la práctica del cultivo.

Los valores de P para las tres principales prácticas se representan en la tabla 4

Tabla 9. Valores de "P" utilizada en la "U.S.L.E."

Pendiente terreno, %	Cultivo en contorno	Cultivo en fajas de contorno.	Terrazas
1-2	0.6	0.3	0.12
3-8	0.5	0.25	0.1
9-12	0.6	0.3	0.12
13-16	0.7	0.35	0.14
17-20	0.8	0.4	0.16
21-25	0.9	0.45	0.18

Fuente: Wischmeier y Smith, (1978), citado por Morales, (1996)

- **Determinación de los factores de la Ecuación Modificada de Pérdida de Suelo (MUSLE)**

$$Y=11.8*(Q*q_p)^{0.56} * K * L * S * C * P$$

Determinación del volumen de escurrimiento por tormenta (Q)

La evaluación de este factor se determina utilizando la siguiente formula:

$$Q= 10 * C * A * P$$

Donde:

Q: Volumen de escurrimiento por tormenta (m³)

C: Coeficiente de escurrimiento

A: Area de la microcuenca (ha)

P: Precipitación anual (mm)

Determinación de la velocidad máxima del caudal de escurrimiento (q_p)

Para la determinación de la velocidad máxima del caudal se utiliza la formula siguiente:

$$q_p = Q/A$$

Donde:

q_p : Velocidad máxima del caudal de escurrimiento por tormenta (m/s)

Q: Caudal máximo de escurrimiento (m^3/s)

A: Area de la microcuenca (m^2)

Determinación del factor erodabilidad del suelo (K)

La evaluación del factor erodabilidad del suelo, se determina a través del uso del nomograma de erodabilidad de (Foster, 1981), su estimación se realiza determinando los valores de:

- Textura
- Materia orgánica
- Estructura
- Permeabilidad

La determinación de los factores (L,S,C y P), es igual a la metodología propuesta en la Ecuación Universal de Pérdida de Suelo (USLE). El factor de escurrimiento ($Q \cdot q_p$) en esta ecuación proporciona una fuente de energía y como la tasa de escurrimiento por unidad de superficie disminuye a medida que aumenta la superficie de drenaje, el modelo contiene una tasa de desplazamiento implícita.

• Determinación de los factores del Modelo de Williams

$$T = 3.25 * (A * Q * Q_p)^{0.56} * K * L * S * C * P$$

Determinación de la superficie de drenaje (A)

La evaluación de este factor se determina a través de la formula siguiente:

$$A = A_m * L$$

Donde:

A: Superficie inundada de la microcuenca (ha)

Am: Ancho medio de la microcuenca (m)

L: Longitud de la microcuenca (m)

Determinación de la escorrentía de la microcuenca (Q)

Para la evaluación de la escorrentía se utiliza el método del Número de Curva del Servicio de Conservación de Suelo de los Estados Unidos

$$E = (p_d - 0.8 * s)^2 / p_d + 0.8 * s$$

Donde:

E: Escorrentía (cm)

p_d: lluvia de diseño (cm)

s: Infiltración potencial determinada a partir de la siguiente ecuación:

$$s = ((1000/CN) - 10) * 2.54$$

CN: Número de curva

Determinación del caudal punta producido por la escorrentía en el tramo (Q_p)

Para la determinación de este factor en el Modelo de Williams, se utiliza el método Racional Modificado, el cual se determina a partir de la siguiente fórmula:

$$Q_p = 0.028 * C * L * A$$

Donde:

Q_p: caudal máximo producido por la escorrentía (m³/s)

C: Coeficiente de la cobertura vegetal

L: Precipitación (mm)

A: Área de la microcuenca (ha)

• Determinación del Índice de Fournier

Para evaluar el modelo del Índice de Fournier, se determina a través de la siguiente fórmula:

$$y = p^2 / p$$

Donde:

y: Índice de Fournier (mm)

p^2 : Precipitación media máxima mensual al cuadrado (mm)

p: Precipitación media anual (mm)

Para obtener la degradación específica (DE), se utilizan las ecuaciones de regresión lineal propuestas por Fournier:

Agrupación A: $y = 6.14 * x - 49.78$

Donde:

y: Degradación específica (ton/ km²* año)

x: coeficiente de Fournier (mm)

La agrupación A, es aplicable a microcuencas de relieve poco acentuado ($h * tg < 6$) y porta valores de p^2/p inferiores a 20.

Agrupación B: $y = 27.12 * x - 475.4$

Donde "y" y "x" son igual a la ecuación anterior

Es aplicable a medios de relieve poco acentuado ($h * tg < 6$) y para valores de p^2/p superiores a 20.

Agrupación C: $y = 52.49 * x - 513.21$

Es aplicable a medios de relieve acentuado ($h * tg > 6$), situados en todos los climas, excepto en los semiáridos.

Agrupación D: $y = 91.78 * x - 737.62$

Es aplicable a medios de relieve acentuado, situados en climas semiáridos

Tabla 10. Clasificación de la erosión potencial en ton/ha/año

Clasificación del tipo erosión	Erosión, en ton/ha/año
Erosión geológica	<3
Erosión franca	3-6
Erosión media	6-9
Erosión fuerte	9-12
Erosión excesiva	>12

Fuente: Fournier, (1960), citado por Hidalgo, (1993)

• **Aforadores portátiles, RBC para canales de tierra**

Los aforadores portátiles se utilizan en la etapa de campo, con el objetivo de medir la cantidad de agua escurrida por la microcuenca, para medir el agua escurrida se procede de la siguiente forma:

- Limpiar el lugar donde se colocará el aforador (pala, machete)
- Colocar el aforador y nivelar
- Cerrar el canal de agua, desviándola hacia el aforador
- Medir la carga de agua (h), utilizando una regla

Tablas de caudales

Se han preparado tablas de aforo para cada uno de los vertederos. Para evitar un error adicional mayor en el caudal medido, debe de utilizarse como dato de entrada el valor correcto de h. Si dicho valor de h es grande, un error en su lectura, dará lugar a un error relativamente pequeño del valor verdadero de la carga real ; si, por el contrario, el valor de h fuera pequeño, se produciría un error muy significativo. Para no cometer grandes errores en la medida del caudal, como consecuencia de valores erróneos de h, hay que tener un cuidado especial en la medida de valores pequeños de h y además, utilizar el aforador más apropiado para que los caudales más frecuentes a medir en él, sean los correspondientes a valores altos de h.

Para el cálculo de los caudales en el presente estudio se utilizaron las tablas de relación carga-caudal, (vea anexo, tabla 37), para los aforadores portátiles RBC mostrados en la tabla 12, con las siguientes dimensiones:

Tabla 11. Dimensiones de los aforadores portátiles RBC, utilizados en el presente trabajo

Anchura de la garganta bc (mm)	Longitud de la garganta (mm)	Gama aprox. De caudal a medir lps	Aproximada pérd. De carga req. (mm)
75	112.5	0.07 4.3	15

- **Determinación de la escorrentía de diseño**

Con el objetivo de conocer las prácticas de conservación de suelo que reduzcan la escorrentía se plantea utilizar el método del "Número de Curva", para su determinación se utiliza la formula siguiente:

$$E = (Pd - 0.2 * s)^2 / (Pd + 0.8 * s)$$

Donde:

E: Escorrentía de diseño (cm)

Pd: Lluvia de diseño (cm)

s: Infiltración potencial (cm)

La infiltración potencial se puede determinar a partir de la formula siguiente:

$$s = (100 / (CN - 10)) * 2.54$$

Donde:

CN: Número de curva

Determinación del número de curva (CN)

La determinación del número de curva, se realiza determinando los siguientes parámetros:

Tipo de suelo

Cultivo

Condición hidrológica

Humedad antecedente

3.4.2 Etapa de Campo

En esta etapa se realizaron las siguientes actividades:

- a. Gira de reconocimiento del área de estudio.
- b. Construcción de transversales en la parte baja y media de la microcuenca, utilizando teodolito, estadía, marcadores, clavos y martillo, para la medición de la escorrentía de la microcuenca.
- c. Se dividió la microcuenca en tres partes (alta, media y baja) tomando en cuenta los siguientes criterios: altitud y pendiente (ver mapa de partes de la microcuenca)
- d. Obtención de muestras de suelo y agua en cada parte de la microcuenca (alta, media y baja), durante la etapa de campo Junio a Septiembre de 1999.
- e. Se realizaron nueve giras de campo en los meses de Junio a Septiembre de 1999, con el propósito de conocer el volumen de agua total escurrido en la microcuenca, para ello se utilizó el método de aforo, de la siguiente dimensión de 75 mm de anchura de garganta.

3.4.3 Etapa de post-campo

Los análisis de las muestras de suelo se realizaron en el Laboratorio de Suelos y Agua de la Universidad Nacional Agraria “UNA”, para la realización de los análisis de las muestras de suelo en el laboratorio se utilizó la metodología planteada por la Internacional Soil Reference and Information Center (ISRIC), 1994. los análisis realizados fueron los siguientes:

Textura, Materia Orgánica y Permeabilidad del Suelo

Las demás propiedades del suelo utilizadas en el trabajo se infirieron de acuerdo a la textura del suelo, permeabilidad y conocimiento de la zona.

Para conocer el porcentaje de sedimento presentes en las muestras de agua se realizó el siguiente procedimiento:

En una balanza tecnoquímica se pesaron las muestras conteniendo un litro de agua; se introdujeron al horno a temperatura de 105 °C, luego después de 24 horas, se volvieron a pesar y por diferencia de peso húmedo menos peso seco se encontró el porcentaje de sedimento por litro de agua y para conocer la cantidad de sedimento total, se relaciono con el volumen total de escurrimiento medido utilizando el método de aforo en la etapa de campo.

A las muestras de suelo se le realizaron los siguientes análisis:

La textura del suelo se realizó utilizando el método de la pipeta de Robinson, el cual se basa en la relación existente entre la velocidad de precipitación de las partículas de suelo y su tamaño de acuerdo a la ley de Stokes. Después, de un tiempo calculado, se seca con una pipeta una parte alicuota desde una profundidad definida por debajo de la superficie y se evapora a sequedad, el residuo se seca al horno y se pesa, determinándose las partículas fundamentales del suelo: arena, limo y arcilla.

Para la determinación de la materia orgánica de las muestras de suelo se utilizó el procedimiento de Walkley y Black. Este procedimiento involucra la combustión húmeda de la materia orgánica con una mezcla de Dicromato de Potasio ($K_2Cr_2O_7$).

Para determinar la permeabilidad se utilizó el permiametro el cual se basa en la ley de Darcy:

$K = E \cdot V / H \cdot S$, Donde:

K: Coeficiente de permeabilidad, E: altura de capa de suelo atravesada, V: gasto (volumen de agua de la percolación), H: carga (altura de la superficie de agua en el tubo),

S: Area de la sección transversal de la columna de suelo.

• **Análisis de la Información**

En esta etapa se verifico la información recopilada en la etapa de precampo con la información recopilada en la etapa de campo, luego se procedió a aplicar cada una de las metodologías propuestas para llegar a los resultados del presente trabajo.

IV. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1 Morfometría de la microcuenca

La microcuenca Wibuse- Jícaro, tiene forma oval-oblonga a rectangular oblonga, por presentar un índice de Gravelius de 1.74, un alejamiento medio de 0.88 km/km^2 , densidad de drenaje de 1.38 km/km^2 y pendiente media de 33.3%.

4.2 Factores de la Ecuación Universal de Pérdida de Suelo "U.S.L.E."

4.2 .1. Factor erosividad de la lluvia "R"

Los eventos lluviosos durante 1999, registraron 1,348.7 mm de precipitación total para los meses de Mayo a Octubre, el valor de Erosividad del periodo fue de $15.14 \text{ Mj*mm/ha/hr*año}$.

4.2.2. Factor erodabilidad del suelo "K"

La microcuenca tiene valores de erodabilidad de 0.44, 0.36 y 0.11 $\text{ton/ha*año/Mj*mm/ha/hr}$, (nomograma de Wischmeier, 1971), vea anexo tabla 20 y para la Ecuación Modificada de Pérdida de Suelo se tienen valores erodabilidad de 0.044, 0.036 y 0.011, $\text{ton/ha*año/Mj*mm/ha/hr}$ (nomograma de Foster, 1981), vea anexo tabla 21.

4.2.3. Factor longitud de la pendiente (L)

Para el factor longitud de pendiente se determinaron valores de 8.5, 11.8 y 16.9 para las partes baja, media y alta de la micro-cuenca respectivamente, vea anexo tabla 22.

4.2.4. Gradiente de la pendiente

Los valores encontrados de gradiente de pendiente fueron de 6.043, 14.3 y 20.898 para las partes baja, media y alta de la microcuenca respectivamente, vea anexo tabla 23.

4.2.5. Factor uso y manejo de la cobertura vegetal (C)

Los valores del factor uso y manejo de la cobertura vegetal anuales calculados para las partes baja, media y alta de la microcuenca fueron de 0.43, 0.418 y 0.57 respectivamente, vea anexo tabla 25.

4.2.6. Factor prácticas conservación de suelo (P)

Para el cálculo del factor prácticas de control de la erosión (P), se utilizó la metodología propuesta por Wischmeier, la microcuenca Wibuse-Jícaro no presentó ninguna de las prácticas propuestas por Wischmeier, por tal razón se da el valor de la unidad.

4.2.7. Resumen de los factores de la Ecuación Universal de Pérdida de Suelo U.S.L.E.

Tabla 12. Factores de la U.S.L.E.

Partes	A	R	K	L	S	C	P
Baja	50.6	15.14	0.44	8.5	6.043	0.43	1
Media	102.6	15.14	0.36	11.8	14.3	0.418	1
Alta	130.4	15.14	0.11	16.9	20.898	0.57	1

Las pérdidas de suelo obtenidas al utilizar la Ecuación Universal de Pérdida de Suelo en la microcuenca Wibuse- Jícaro, en 1999 fueron de 50.6, 102.6 y 130.4 ton/ ha* año para la parte baja, media y alta respectivamente, vea tabla 12; clasificada por la FAO, (1980), en la categoría muy alta (vea tabla 5), con pérdidas totales de 283.6 ton/ ha* año, este incremento de pérdida de suelo en la parte alta de (27.8 ton/ ha* año) con relación a la parte media y (79.8 ton/ ha* año) con relación a la parte baja de la microcuenca, se debe a factores como: el gradiente y longitud de la pendiente ya que en esta parte de la microcuenca (alta), predominan pendientes de 30% a mayores (ver mapa N^o2) teniendo relación este factor con la falta de prácticas de conservación de suelos en toda la microcuenca. La parte media de la microcuenca, presentó pérdidas de 102.6 ton/ ha* año, con un incremento de pérdida de suelo de (52 ton/ ha* año), con relación a la parte baja, este incremento de pérdida de suelo en la parte media se debe al aumento en un 30 y 57.7% de la longitud y gradiente de la

pendiente respectivamente, además en esta parte de la microcuenca los productores en su mayoría utilizan la quema antes de la entrada de la estación lluviosa lo cual aumenta la susceptibilidad del suelo a la erosión hídrica, combinado con la disminución de la cobertura vegetal provocado por el huracán Mitch siendo estos últimos factores secundarios. La parte baja de la microcuenca, presentó los valores más bajas de pérdidas de suelo 50.6 ton/ ha* año al aplicar este modelo, debido a que en esta parte de la microcuenca se localizan los suelos con menores pendientes.

4.3 Ecuación Modificada de Pérdida de Suelo “M.U.S.L.E.”, utilizada en la microcuenca Wibuse- Jícaro

Al utilizar la Ecuación Modificada de Pérdida de Suelo, las pérdidas de suelo fueron de 0.14, 0.52 y 0.91 ton/ha* año (ver tabla 13), para las partes baja, media y alta respectivamente de la microcuenca, según los datos obtenidos muestran que la parte alta y media de la microcuenca, están siendo mayormente erosionada por el agua que la parte baja, (aunque este modelo proporciona pérdidas de suelo totales menores comparadas con las pérdidas reales y las tolerables), esta diferencia mayor de pérdida de suelo en la parte alta (0.77 ton/ha* año) comparada con la parte baja y de la parte media (0.38 ton/ha* año) comparada con la parte baja, se debe a que la parte alta y media de la microcuenca, se localizan pendientes que oscilan de 15% a mayores que es el factor que presenta las diferencias más significativas en cada parte de la microcuenca y aunque los suelos por el grado de pendiente no son apto para cultivo (granos básicos), la necesidad por producir provoca cada año el aumento de la frontera agrícola en áreas no aptas para cultivo aumentando la susceptibilidad del suelo a la erosión hídrica, pero que según estos datos las pérdidas totales (1.57 ton/ha*año), no son significativas comparadas con las pérdidas reales (3.26 ton/ha*año).

Tabla 13. Valores de pérdida de suelo utilizando la Ecuación Modificada de Pérdida de Suelo

Parte	A (ton/ha/año)
Baja	0.14
Media	0.52
Alta	0.91

4.4 Modelo de Williams, utilizado en la microcuenca Wibuse- Jícara

Al utilizar el modelo de Williams en la microcuenca se obtuvieron pérdidas de suelo de 12.3, 31.1 y 66.1 ton/ha* año, para las partes baja, media y alta respectivamente, (vea tabla 14), clasificada como erosión en la categoría de alta con pérdidas totales de 109.5 ton/ha*año, FAO, (1980), vea tabla 5, confirmándose que en la parte alta de la microcuenca se dan las mayores pérdidas de suelo debido a los factores: longitud y gradiente de la pendiente, la quema y el deterioro provocado en la cobertura vegetal por el huracán mitch en el año 98, son factores que aceleran y aumentan las pérdidas de suelo, otro factor importante es que los productores de la zona no utilizan ningún tipo de obra de conservación de suelo para disminuir la erosión hídrica.

Tabla 14. Valores de pérdida de suelo al utilizar el Modelo de Williams en la microcuenca Wibuse - Jícara

Partes	A (ton/ha/año)
Baja	12.3
Media	31.1
Alta	66.1

4.5 Índice de Fournier, utilizado en la microcuenca Wibuse - Jícaro

De acuerdo a los valores obtenidos al aplicar el Índice de Fournier en la microcuenca los meses de octubre y Julio presentaron las mayores pérdidas de suelo en el año (109.8 y 25.3 ton/ ha* año), las pérdidas de suelo totales para el año en estudio fueron de 159.8 ton/ ha* año, (vea tabla 15), siendo clasificada como una erosión excesiva, lo cual indica que la degradación de los suelos excede los rangos permisibles de erosión (12 ton/ ha* año), producto de las precipitaciones en el periodo de estudio, con suelos que van de francos a arcillosos, presenta un relieve accidentado y una zona climática árida. Las pérdidas mensuales y anuales demuestran la influencia de la precipitación en aumentar o disminuir las pérdidas de suelo, ya que los meses de mayor precipitación del año fueron Octubre y Julio los cuales obtuvieron las mayores pérdidas de suelo del modelo, asociadas a los factores que provocan un alto grado de erosión como: pendiente escarpada, cobertura vegetal degradada y siembra sin ningún tipo de práctica de conservación.

Tabla 15. Valores de pérdida de suelo utilizando el Índice de Fournier

Mes	D.E, (ton/ ha* año)	Pp (mm)
Junio	-1.88	91.4
Julio	25.3	279.4
Agosto	11.34	205.74
Septiembre	15.2	228.6
Octubre	109.8	543.56
Total	159.76	1348.7

4.6 Comparación del modelo USLE vrs MUSLE Y Williams vrs Fournier

Comparación de la Ecuación Universal vrs Ecuación Modificada de Pérdida de Suelo

La tabla 16 resume los resultados de los cuatro modelos de estimación de pérdida de suelo utilizados en la microcuenca Wibuse- Jícaro y las pérdidas reales por sedimento; la Ecuación Universal de Pérdida de Suelo presentó pérdidas de suelo de 283.6 ton/ ha* año, mientras que

la Ecuación Modificada de Pérdida de Suelo presentó pérdidas de suelo de 1.57 ton/ ha* año, habiendo una diferencia de (282.03 ton/ ha* año) de la Ecuación Universal con relación a la Ecuación Modificada de Pérdida de Suelo, la Ecuación Universal presentó pérdidas de suelo mayores que las calculadas por sedimentos reales que fueron de 3.267 ton/ ha* año, mientras que la Ecuación Modificada presentó pérdidas de suelo menores que las calculadas por sedimento reales medidas en el campo, esta diferencia de pérdida de suelo entre la Ecuación Universal y la Ecuación Modificada se debe a que esta última, para evaluar el factor erodabilidad del suelo utiliza el nomograma de Foster el cual disminuye las pérdidas de suelo, otro factor importante es la incorporación del escurrimiento superficial el cual es menor al compararlo con el factor que utiliza la Ecuación Universal la precipitación (intensidad y energía cinética).

Comparación del Modelo Williams vrs Índice de Fournier

El modelo de Williams al ser aplicado en la microcuenca presentó pérdidas de suelo de 109.5 ton/ ha* año, mientras que el Índice de Fournier presentó pérdidas de 159.76 ton/ ha* año, presentando un incremento de (50.26 ton/ ha* año) del Índice de Fournier con relación al Modelo de Williams. El Índice de Fournier y el modelo de Williams presentaron pérdidas de suelo mayores que las calculadas por sedimentos reales que fueron de 3.267 ton/ ha* año. El Índice de Fournier presento pérdidas más altas (159.76), comparado con el Modelo Williams (109.5), el incremento de pérdidas de suelo del Índice de Fournier se debe a que este para la estimación de pérdidas de suelo únicamente toma en consideración la precipitación como factor principal y el relieve (altura media y pendiente media), esto hace que por las características topográficas de la zona que son pendientes escarpadas (33.3 %) y altura media de 600 msnm, las pérdidas de suelo se incrementen.

Tabla 16. Resumen de las metodologías utilizadas en la determinación de pérdidas de suelo

Modelos / Partes	U.S.L.E.	M.U.S.L.E	M. William	Fournier	Pérdidas reales
Baja	50.6	0.07	6.1		
Media	102.6	0.36	21.6	159.76	3.267
Alta	130.4	0.8	59.5		
Total	283.6	1.3	87.2	159.76	3.267

4.7 Resultado de escorrentia, utilizando el método de aforo

Al utilizar el método de aforo para estimar la escorrentia en la microcuenca, se obtuvieron valores que oscilan entre 0.7 a 16.4 cm de escorrentia, vea anexo tablas 29 a la 37, lo que da como resultado pérdidas de suelos de 3.267 ton/ ha* año.

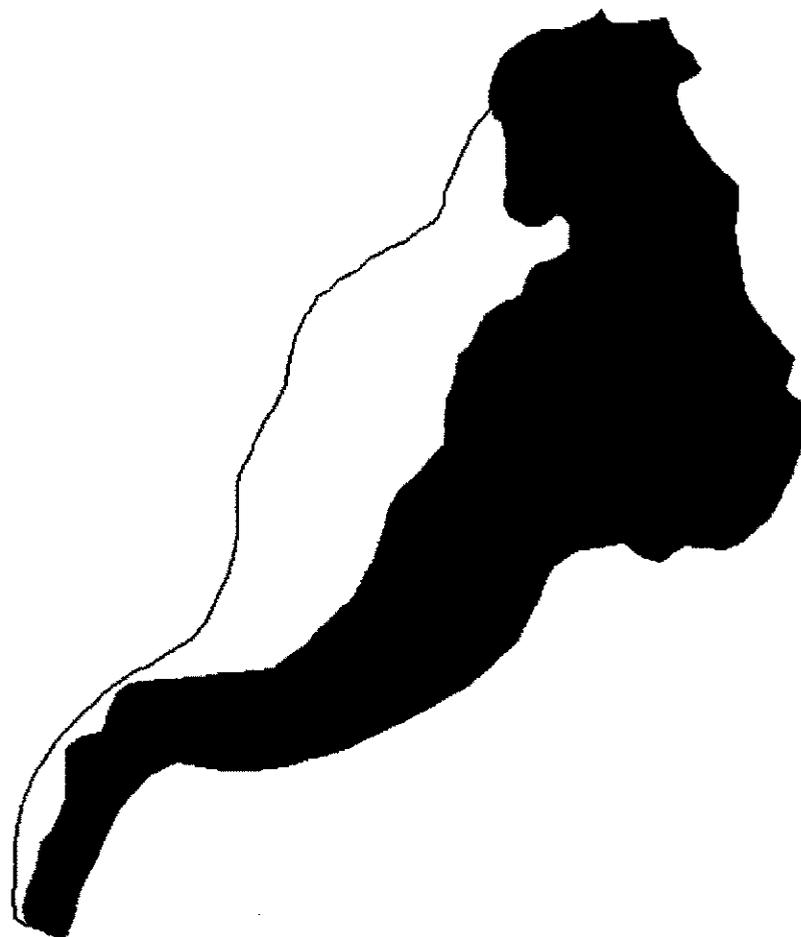
4.8 Modelación de la microcuenca Wibuse- Jícara bajo diferentes usos del suelo

La aplicación de la modelación en la microcuenca, se realizó con el propósito de estimar la influencia de diferentes tipos de cubierta vegetal con el comportamiento de la escorrentia, utilizando el modelo del Número de Curva y los resultados fueron los siguientes:

- **Estimación de la escorrentia (cm), utilizando el método del número de curva tomando como parámetro el mapa de Uso Actual del Suelo**

Tabla 17. Método del número de curva para estimar escorrentia, en (cm), de acuerdo al Uso Actual del Suelo

Manejo	G. S.	C. H.	C.H.A.	NC	Pp, (cm)	E. en (cm)
Maiz	C	Buena	II	82	4.3	37.11
Frijol	C	Buena	II	78	4.3	35.6
Pasto	C	Buena	II	70	4.3	32.4
Bosque	B	Buena	II	70	4.3	32.4
Total						137.53



- Uso Atual
- Bosque de Galería
 - Café con Sombra
 - Pasto Natural
 - Pasto Natural + Cultivo

1 0 1 Kilometers

MAPA DE USO ACTUAL, SUBCUENCA DEL RIO CALICO, MICROCUENCA WIBUSE-JICARO 1. SAN DIONISIO, MATAGALP.

- Estimación de la escorrentia (cm), utilizando el método del número de curva, tomando Como parámetro el mapa de Uso Propuesto del Suelo

Tabla 18. Método del número de curva para estimar escorrentia (cm), de acuerdo al Uso Propuesto del Suelo

Manejo	Grupo S.	C. H.	C.H.A.	NC	Pp. (cm)	E, en (cm)
GCLHEFR	C	Buena	II	59	4.3	27.4
GCHE	C	Buena	II	69	4.3	31.9
SAGF	B	Buena	II	54	4.3	25
PVS	B	Buena	II	55	4.3	25.4
Total						109.7

Donde:

GCLHEFR: ganadería con leguminosas en hileras estrechas o forraje en rotación

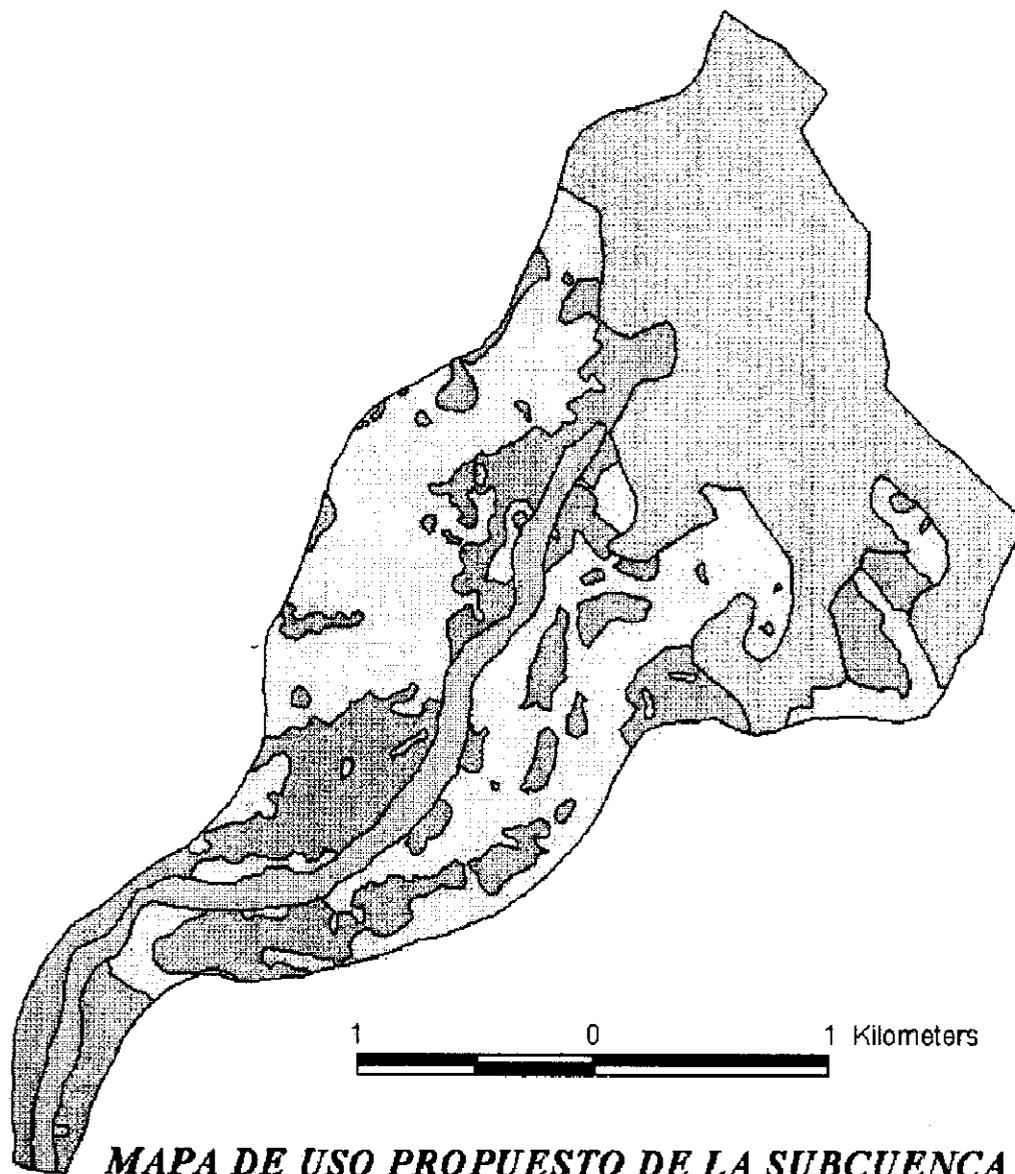
GCHE: ganadería con cultivos en hileras estrechas SAGF: sistema agroforestal

PVS: protección de la vida silvestre G.S.: grupo de suelo

C.H: condición de humedad C.H.A.: condición de humedad antecedente

NC: número de curva Pp: precipitación E: escorrentia

Las tablas 17 y 18 demuestran la influencia que la cubierta vegetal tiene sobre la escorrentia y sobre la erosión hídrica del suelo, proporcionando un valor de escorrentia al aplicar el método del número de curva de acuerdo al uso actual del suelo de 137.53 cm de escorrentia total, disminuyendo hasta un valor 109.7 cm (20.3%), de acuerdo al uso propuesto del suelo.



Usos Propuestos

-  ***GcCHE***
-  ***GLHEFR***
-  ***PVS***
-  ***SAEF***

1 0 1 Kilometers



***MAPA DE USO PROPUESTO DE LA SUBCUENCA RIO CALICO,
MICROCUENCA WIBUSE-JICARO; SAN DIONISIO, MATAGALPA.***

V. CONCLUSIONES

5.1. Morfometría de la Microcuenca Wibuse- Jícaro

La microcuenca Wibuse- Jícaro es de forma alargada, con un coeficiente de masividad de 1.74 que la define así, un relieve accidentado con una pendiente media de 33.3 % y una densidad de drenaje de 1.38 km/km².

5.2 Ecuación Universal de Pérdida de Suelo "U.S.L.E."

Existe una relación directa entre la erosividad de las lluvias y las pérdidas de suelo; pero éstas pérdidas de suelo pueden ser aceleradas o disminuidas dependiendo de las condiciones del suelo, topografía y la presencia de cobertura vegetal.

Los suelos de la microcuenca presentaron un factor de erodabilidad de medio a bajo con valores de erodabilidad de 0.46 a 0.11 ton/ha*año/Mj* mm/ha/hr, con el uso del nomograma de Wischmeier, (1971), para la Ecuación Universal de Pérdida de Suelo y el Modelo de Williams y valores con el uso del nomograma de Foster, (1981), de 0.046 a 0.011 ton/ha*año/Mj* mm/ha/hr, para la Ecuación Modificada de Pérdida de Suelo, estos valores de erodabilidad indican que los suelos de la microcuenca Wibuse (baja y media), presentan una resistencia a la erosión media y los suelos de la parte alta presentan una alta resistencia a la erosión hídrica.

El tipo de cobertura vegetal y su densidad, asociada a las prácticas de conservación, influyen en evitar mayores pérdidas de suelo; a mayor cobertura y prácticas mayor protección al suelo y menores son las pérdidas de suelo.

El uso de la Ecuación Universal de pérdida de suelo, presentó pérdidas de suelo mayores en comparación con las pérdidas de suelo reales. Las pérdidas de suelo potenciales fueron de 283.6 ton/ ha* año y las pérdidas de suelo reales fueron 3.267 ton/ ha* año.

5.3 Ecuación Modificada de Pérdida de Suelo

El uso de la Ecuación modificada de Pérdida de Suelo, presentó pérdidas de suelo menores, en comparación con las pérdidas de suelo reales. Las pérdidas de suelo potenciales fueron de 1.57 ton/ ha* año y las pérdidas de suelo reales fueron de 3.267 ton/ ha* año, siendo las pérdidas más aproximadas a las pérdidas reales medidas en el campo (3.267 ton/ ha* año) de los cuatro modelos utilizados y clasificada como erosión ninguna a ligera FAO, (1980).

5.4 Modelo de Williams

El uso del modelo de Williams, presentó pérdidas de suelo mayores, en comparación con las pérdidas de suelo reales. Las pérdidas de suelo potenciales estimadas fueron de 109.5 ton/ ha*año, siendo las pérdidas de suelo más bajas después de la Ecuación Modificada de los cuatro modelos utilizados y clasificada como erosión alta, FAO, (1980) y las pérdidas de suelo reales fueron de 3.267 ton/ ha* año.

5.5 Índice de Fournier

La aplicación del Índice de Fournier para estimar pérdidas de suelo presentó pérdidas de suelo mayores en comparación con las pérdidas reales. Las pérdidas de suelo potenciales fueron de 159.76 ton/ ha* año y las pérdidas de suelo reales fueron de 3.267 ton/ ha* año.

5.6 Alternativas de manejo de la microcuenca Wibuse y modelo de mejor ajuste

De acuerdo a los resultados obtenidos al utilizar los modelos de estimación de pérdida de suelo: Ecuación Universal, Ecuación Modificada, Modelo de Williams e Índice de Fournier y compararlos con las pérdidas reales de suelo, demuestran que el modelo de estimación de pérdida de suelo más apropiado para estimar pérdidas de suelo en la microcuenca en próximos trabajos de investigación es la Ecuación Modificada de Pérdida de Suelo por presentar las pérdidas de suelo más aproximadas a las pérdidas de suelo reales obtenidas a través de la medición directa ambos modelos dieron pérdidas por debajo del rango de tolerancia y las alternativas de manejo a nivel de la microcuenca Wibuse-Jícaro son:

1. Ganadería con leguminosas en hileras estrechas o forraje en rotación
2. Ganadería con cultivos en hileras estrechas

3. Sistemas agroforestales
4. Protección de la vida silvestre

Para reconocer la aplicación (en áreas y partes de la microcuenca) de las diferentes alternativas de manejo ver mapa de uso propuesto.

5.7 Modelación de la microcuenca Wibuse - Jícaro bajo diferentes usos de suelo

Al aplicar el método del número de curva tomando en cuenta condiciones de uso actual y uso propuesto del suelo se concluye que bajo condiciones de uso propuesto del suelo se disminuye en un (20.3 %) la escorrentía comparada bajo condiciones de uso actual del suelo.

VI. RECOMENDACIONES

1. Diseñar una planificación del uso y manejo integral de la producción agropecuaria, tomando en cuenta la propuesta de uso con el propósito de aprovechar y utilizar racionalmente los recursos de la microcuenca.
2. Establecer sistemas Agroforestales y Silvopastoriles para diversificar la agricultura y contribuir a la recuperación de los suelos erosionados y áreas deforestadas.
3. Fomentar la capacitar de líderes en la comunidad con el propósito de juntar esfuerzos en acciones de desarrollo, conservación de suelos y agua, reforestación y protección de los recursos naturales
4. Formular proyectos de obras estructurales para la construcción de barreras de contención y obras simples de conservación de suelos y agua con la participación de la comunidad, gobierno local (Alcaldía) e instituciones gubernamentales y no gubernamentales.
5. Elaborar planes de reforestación con especies nativas: Madero negro, Genizaro, Guanacaste, Jiñocuabo, Madroño, Guayabo, Gavilán, Aguacate montero, Chaperno, Laurel, priorizando las áreas deforestadas, estableciendo bosques energéticos dentro y fuera de la microcuenca, a lo largo del curso principal del río. La reforestación contribuirá a preservar los hábitat naturales de la fauna y recuperar el daño causado por el huracán Mitch.
6. Es necesario dar seguimiento a este trabajo para tener parámetros más confirmados en cuanto a las pérdidas de suelo e identificar con mayor precisión el modelo de estimación de pérdida de suelo que se adapte más a las condiciones existentes en la microcuenca.

VII. BIBLIOGRAFIA

- Báez Gómez, Angélica María. 1998. Reconocimiento y caracterización de los recursos hídricos, edáficos y forestales del municipio de Condega, Estelí. Escuela de Suelos y Agua. Universidad Nacional Agraria. Managua, Nicaragua.
- Cairo, Pedro. 1995. La fertilidad física del suelo y la agricultura orgánica en el tropico. Universidad central de las villas, Cuba.
- Duque, C. Roberto A. 1985. Relación precipitación escorrentía. Merida, Venezuela.
- Espinoza, Nohemi; Vernooy Ronnie. 1998. Las 15 microcuencas del rio calico, San Dionisio, Matagalpa. Managua, Nicaragua.
- Forsythe, Warren. 1975. Física de suelos. Editorial IICA (Instituto Interamericano de Ciencias Agrícolas). San José, Costa Rica. 211p.
- Gavande, A. Sampat. 1987. Física de suelos, principios y aplicaciones. Editorial Limusa, México. 347p.
- Grassi, J. Carlos. 1991. Drenaje de Tierras Agrícolas. CIDIAT (Centro Interamericano de Desarrollo Integral de Aguas y Tierras). Mérida, Venezuela.
- Grassi, J. Carlos. 1983. Manual de drenaje agrícola. CIDIAT (Centro Interamericano de Desarrollo Integral de Aguas y Tierras). Mérida, Venezuela
- Guido López, Julio Cesar. 1997. Evaluación de los factores de la Ecuación Universal de Pérdida de Suelo, en la microcuenca "D" de la cuenca sur del lago de Managua. Escuela de Producción Vegetal. Universidad Nacional Agraria. Managua, Nicaragua. 65 p.

Hidalgo, R. Pedro. 1993. Primer seminario de planificación ambiental participativa para el manejo de cuencas hidrográficas.

Luna Acuña, Cristian Mercedes. 2000. Identificación, Priorización y Clasificación de Indicadores Locales de Calidad del Suelo de la Subcuenca del Río Calico, San Dionisio, Matagalpa. Escuela de Suelos y Agua. Universidad Nacional Agraria. Managua, Nicaragua

Obregón Acevedo, Esmilse; Polanco Torres, Mayling. 1999. Diagnostico Físico - Conservacionista de la subcuenca III de la cuenca sur del lago de Managua. Facultad de Recursos Naturales y del Ambiente. Universidad Nacional Agraria. Managua. Nicaragua.

López cadena de Llano, Filiberto; Blanco Criado, Martín. 1968. Aspectos cualitativos y cuantitativos de la erosión hídrica y del transporte y deposito de materiales. Ministerio de Agricultura, Dirección General de Montes, Caza y Pesca Fluvial, Instituto Forestal de Investigaciones y Experiencias. Madrid, España.

Martínez Blandón, Rigoberto Antonio. 2000. Estudio etnobotánico de las especies forestales de la subcuenca del río calicó, San Dionisio, Matagalpa. Escuela de ciencias forestales, Departamento de silvicultura. Managua, Nicaragua. 41p.

Mendoza Corrales, Reynaldo Bismarck. 1994. Evaluación de prácticas Agro culturales de conservación de suelos sobre la erosión y la producción de granos básicos. Escuela de Suelos y Agua. Universidad Nacional Agraria. Managua, Nicaragua. 60p.

Murillo, Gerardo. 1990. La erodabilidad de cuatro serie de suelos determinada por el minisimulador de lluvia y el nomograma de Wischmeier. Departamento de producción Vegetal. Managua, Nicaragua. 29p.

- Marinus, G. Bos; John A. Replogle; Albert J. Clemmens. Aforadores de caudales para canales abiertos.
- Mendieta López, Manuel Antonio. 1999. Monitoreo del proceso de mineralización de tres especies de leguminosas, San Dionisio, Matagalpa. Escuela de suelos y agua. Universidad Nacional Agraria. Managua, Nicaragua. 58p.
- Murillo López, Karla; Osorio López, Donny José. 1999. Caracterización de los recursos edáficos de la subcuenca del río calicó, San Dionisio, Matagalpa. Escuela de suelos y agua. Universidad Nacional Agraria. Managua, Nicaragua. 87p.
- Morales, Jairo. 1996. Conservación de suelos y agua. Tomo III. Escuela de Suelos y Agua. Universidad Nacional Agraria. Managua, Nicaragua.
- Sánchez vélez, Alejandro. 1987. Conceptos elementales de hidrología forestal agua, cuenca Y vegetación. Primera edición. Universidad Autónoma de Chapingo. México.
- Porta, J; López Acevedo, M; Roquero, c. 1999. Edafología para la agricultura y el medio ambiente. Segunda edición. Ediciones Mundi-Prensa. Madrid, España. 833p.
- Ulloa, Luís Felipe. 1993. Proyecto agua y agroreforestación comunidades de San Dionisio, Matagalpa. Instituto Técnico Forestal. Estelí, Nicaragua.

VIII. ANEXO

Anexo 1. Materiales utilizados

Materiales

Material de campo

- Teodolito
- Estadia
- Trípode
- Cinta métrica
- Estacas
- Aforadores (75 y 100 mm)
- Regla
- Pala
- Machete
- Clavos
- Pintura
- Bolsas plásticas
- Botellas
- Libreta
- Marcadores
- Lápices.

3.6.2 Materiales de post-campo

- Textura

Probeta graduada de 1 litro, émbolo especial para mezclar, pipeta de 25 ml provista de un bastidor por medio del cual puede subirse o bajarse una distancia medida, dispositivo de aspiración para uso con la pipeta, cronómetro de intervalos, termómetro para temperatura ambiente, cápsulas de evaporación de 35 y 50 ml de capacidad, frasco lavador de plástico, baño de agua, estufa de secado, desecador, balanza analítica.

- **Materia Orgánica**

Balanza analítica, matraces erlenmeyer, refrigerantes de aire, placa de calentamiento eléctrica, pipetas, bureta automática, probetas graduadas, matras aforado, embudos y frasco lavador.

- **Materiales de análisis de la información**
- **Computadora e impresora**
- **Tonner o cinta**
- **Papel tamaño carta**
- **Disquet**

Anexo 3. Determinación de los factores longitud y gradiente de la pendiente "LS"

Tabla 22. Cálculo del factor longitud de la pendiente "L"

Partes	X (m)	22.13	m	Factor "L"
Baja	1615	22.13	0.5	8.54
Media	1360	22.13	0.6	11.8
Alta	2465	22.13	0.6	16.9

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

Donde:

L: factor longitud de la pendiente, adimensional

X: longitud de la pendiente, en metros

22.13: factor de conversión

m: constante que depende de la pendiente del terreno

Tabla 23. Cálculo del factor gradiente de la pendiente "S"

Partes	s %	Dn	Dh	100	Factor S
Baja	14.3	100	700	100	6.043
Media	28.6	100	350	100	14.3
Alta	37.6	500	1330	100	16.9

$$S = 0.43 + 0.3*s + 0.043*s^2 / 6.613$$

Donde:

s: pendiente del terreno, en %

Dn: diferencia de nivel, en metros

Dh: distancia horizontal, en metros

S: factor gradiente de la pendiente, adimensional

6.613: factor de conversión

Anexo 4. Determinación del factor manejo del cultivo y cubierta vegetal "C"

Tabla 24. Determinación del factor manejo del cultivo y cubierta vegetal "C"

Partes	Símbolo	Tipo de cob. v	Índice de prot	Área (ha)
Baja	5b	Pasto nat+cult	0.375	37.5
Baja	3b	Pasto natural	0.45	47
Baja	1c	Bosque de gal	0.5	20
Media	5b	Pasto nat+cult	0.375	89.5
Media	3b	Pasto natural	0.45	68
Media	1c	Bosque de gal	0.5	21.5
Alta	5b	Pasto nat+cult	0.375	102.4
Alta	3b	Pasto natural	0.45	120.7
Alta	1c	Bosque de gal	0.5	50.3
Alta	1b	Café con sob	0.85	136.7

Tabla 25. Índice de cobertura vegetal total "C"

Partes	Símbolo	Tipo c.v	(1)área	(2)índice	3=1*2	Índ pr. to	Símbolo
Baja	5b	Pn+c	37.5	0.375	14.0625		
Baja	3b	P nat	47	0.45	21.15		
Baja	1c	Bosq ga	20	0.5	10	0.43	V4
Total			104.5		45.2125		
Media	5b	P n+ cul	89.5	0.375	33.5625		
Media	3b	P nat	68	0.45	30.6		
Media	1c	Bosq ga	21.5	0.5	10.75		
Total			179		74.9125	0.418	V4
Alta	5b	P n+cul	102.4	0.375	38.4		
Alta	3b	P natura	120.7	0.45	54.315		
Alta	1c	Bosq ga	50.3	0.5	25.15		
Alta	1b	Café sbr	136.7	0.85	116.195		
Total			410.1		234.06	0.57	V4

Donde:

Pn+c: pasto natural más cultivo

P nat: pasto natural

Bosq ga: bosque de galería

Café sbr: café con sombra

Tipo c v: tipo de cobertura vegetal

Índ pr to: índice de protección total

Anexo 5. Valores de permeabilidad del Soil Conservation Service, (1948), Grassi, (1983)

Tabla 26. Clases de permeabilidad propuestas, tienen los intervalos que se detallan a continuación, convertidos al sistema métrico decimal y redondeadas las cifras

Clases de permeabilidad	Rangos de permeabilidad	
	Cm/hr	m/día
1. muy lenta	0.1	0.03
2. lenta	0.1-0.5	0.03-0.12
3. moderadamente lenta	0.5-2	0.12-0.50
4. moderada	2-6	0.50-1.50
5. moderadamente rápida	6-12	1.50-3.00
6. rápida	12-18	3.00-4.50
7. muy rápida	>18	>4.50

Fuente: U.S. soil conservation service (1948), Grassi, (1983)

Anexo 6. Valores de Escorrentía en cm y Caudal en lps

Tabla 27. Valores de escorrentía (cm), utilizando el método de aforo y caudal (lps) para la fecha del 13/06/99

H1, cm	Q1, lps	H2, cm	Q2, lps	Puntos
0.7	0.0672	0.8	0.0844	1
0.8	0.0844	0.9	0.1030	2
1.0	0.1230	1.0	0.1443	3
1.1	0.1443	1.2	0.1669	4
0.7	0.0672	0.8	0.0844	5
0.9	0.1031	0.8	0.0844	6
0.8	0.0844	0.7	0.0672	7
1.2	0.1669	1.0	0.1230	8
				9

Donde:

H1 y H2: escorrentía medida en el campo por el método de aforo, en cm

Q1 y Q2: caudal de escorrentía, en lps

Tabla 28. Valores de escorrentía (cm) y caudal (lps) para el 20/06/99

H1, cm	Q1, lps	H2, cm	Q2, lps
0.7	0.0672	0.8	0.0844
0.8	0.0844	0.9	0.1030
1.0	0.1230	1.1	0.1443
1.0	0.1230	1.2	0.1669
0.7	0.0672	0.8	0.0844
0.8	0.844	0.8	0.0844
0.8	0.0844	0.7	0.0672
1.3	0.1908	1.2	0.1669

Tabla 29. Valores de escorrentía (cm) y caudal (lps) para el 28/06/99

H1, cm	Q1, lps	H2, cm	Q2, lps
1.6	0.2701	1.5	0.2424
1.5	0.2424	1.6	0.279
2.4	0.5366	2.7	0.6571
4.3	1.4945	4.0	1.312
0.8	0.0844	1.0	0.1230
0.9	0.1030	0.9	0.1030
0.8	0.0844	0.7	0.0672
5.3	2.1855	5.1	2.0355
0.9	0.1030	1.0	0.1230

Tabla 30. Valores escorrentía (cm) y caudal (lps) para el 04/07/99

H1, cm	Q1, lps	H2, cm	Q2, lps
1.8	0.3293	1.7	0.2991
1.9	0.3607	1.9	0.3607
3.2	0.8832	3.5	1.0344
4.5	1.6225	4.7	1.7560
0.9	0.1030	0.8	0.0844
0.9	0.1030	1.0	0.1230
0.8	0.0844	0.7	0.0672
5.1	2.0355	5.3	2.1885
1.9	0.3607	2.0	0.3934

Tabla 31. Valores de escorrentía (cm) y caudal (lps) para el 26/07/99

H1, cm	Q1, lps	H2, cm	Q2, lps
2.1	0.4274	2.0	0.3934
1.9	0.3607	2.0	0.3934
3.8	1.1970	3.7	1.1520
4.4	1.5570	4.6	1.6880
1.0	0.1230	1.1	0.1443
1.2	0.1669	1.1	0.1443
0.7	0.0672	0.7	0.0672
5.8	2.5880	5.6	2.4240
2.4	0.4274	2.2	0.4625

Tabla 32. Valores de escorrentía (cm) y caudal (lps) para el 08/08/99

H1, cm	Q1, lps	H2, cm	Q2, lps
2.6	0.6157	2.5	0.5755
2.3	0.4990	2.6	0.6157
4.8	1.824	5.0	0.966
6.3	3.024	6.9	3.554
1.2	0.1669	1.4	0.2160
1.6	0.2701	1.5	0.2424
1.1	0.1443	1.0	0.1230
6.8	3.495	7.0	3.693
2.9	0.7437	3.0	0.7889

Tabla 33. Valores de escorrentia (cm) y caudal (lps) para el 22/08/99

H1, cm	Q1, lps	H2, cm	Q2, lps
2.9	0.9384	3.0	0.9936
2.8	0.8839	3.2	1.109
5.3	2.6745	5.6	2.951
7.1	4.549	7.3	4.789
1.4	0.2784	1.3	0.2499
1.8	0.4222	1.7	0.3849
1.2	0.2155	1.0	0.1590
8.2	5.949	8.3	6.0875
3.8	1.490	3.6	1.357

Tabla 34. Valores de escorrentia (cm) y caudal (lps) para el 10/09/99

H1, cm	Q1, lps	H2, cm	Q2, lps
3.2	1.109	3.3	1.1655
3.8	1.490	3.6	1.357
5.9	3.2435	6.2	3.548
12.2	19.624	16.4	33.846
2.1	0.5483	2.6	0.7801
2.6	0.7801	3.1	1.0513
2.1	0.5483	2.2	0.5896
10.2	14.236	11.6	17.912
4.6	2.080	5.3	2.6745

Nota: Los caudales que aparecen con asterisco se determinaron utilizando la formula:

$$Q=A*V, V=d/t \text{ y}$$

$$A=(a+e/2+b+c+...n)*h$$

Tabla 35. Valores de escorrentia (cm) y caudal (lps) para el 24/09/99

H1, cm	Q1, lps	H2, cm	Q2, lps
3.5	1.2935	3.8	1.490
4.0	1.628	4.1	1.7085
	*36.8		*44.99
	*71.7		*117.15
4.6	2.080	4.9	2.326
5.5	2.858	5.3	2.6745
4.8	2.242	5.1	2.457
	219		*205.9
6.8	4.20	7.3	4.789

Anexo 7. Las 15 microcuencas del río Calico, San Dionisio, Matagalpa

- El Carrizal
- El Quebrachal
- El Zarzal
- El Corozo
- Piedra Colorada
- Susuli
- El Zapote
- El Jicaro N°2
- Los Limones
- El Junquillo-Las Cuchillas
- Ocote Arriba
- Ocote Abajo
- Piedras Largas

Tabla 36. Valores del coeficiente de escorrentía

COEFICIENTE DE ESCORRENTIA C						
COBERTURA VEGETAL	TIPO DE SUELO	PENDIENTE DEL TERRENO				
		PRONUNCIADA 50%	ALTA 30%	MEDIA 5%	SUAVE 1%	DESPRECIABLE
SIN VEGETACION	Impermeable	0,30	0,25	0,20	0,15	0,10
	Semipermeable	0,20	0,15	0,10	0,05	0,05
	Permeable	0,10	0,05	0,05	0,05	0,05
CULTIVOS	Impermeable	0,20	0,15	0,10	0,05	0,05
	Semipermeable	0,10	0,05	0,05	0,05	0,05
	Permeable	0,05	0,05	0,05	0,05	0,05
PASTOS VEGETACION LIGERA	Impermeable	0,15	0,10	0,05	0,05	0,05
	Semipermeable	0,10	0,05	0,05	0,05	0,05
	Permeable	0,05	0,05	0,05	0,05	0,05
HIERBA, GRAMA	Impermeable	0,10	0,05	0,05	0,05	0,05
	Semipermeable	0,05	0,05	0,05	0,05	0,05
	Permeable	0,05	0,05	0,05	0,05	0,05
BOSQUES DENSA VEGETACION	Impermeable	0,05	0,05	0,05	0,05	0,05
	Semipermeable	0,05	0,05	0,05	0,05	0,05
	Permeable	0,05	0,05	0,05	0,05	0,05

NOTA: Para zonas que se espera pueden ser quemadas se deben aumentar los coeficientes así:

Cultivos: multiplicar por 1,10

Hierba, pastos y vegetación ligera, bosques y densa vegetación: multiplicar por 1,30

Tabla 37. Relaciones de carga-caudal, en unidades métricas, para cinco pequeños atorradores, de uso en canales sin revestir^a

$bc = 50\text{mm}$		$bc = 75\text{mm}$		$bc = 100\text{mm}$		$bc = 150\text{mm}$		$bc = 200\text{mm}$	
h_1 (m)	Q (litros/s)	h_1 (m)	Q (litros/s)	h_1 (m)	Q (litros/s)	h_1 (m)	Q (litros/s)	h_1 (m)	Q (litros/s)
0,005	0,0241			0,010	0,1590			0,020	0,9348
0,006	0,0361			0,012	0,2155			0,022	1,092
0,007	0,0470	0,007	0,0672	0,014	0,2784	0,014	0,4010	0,024	1,258
0,008	0,0591	0,008	0,0844	0,016	0,3473	0,016	0,4993	0,026	1,433
0,009	0,0721	0,009	0,1030	0,018	0,4222	0,018	0,6061	0,028	1,617
0,010	0,0863	0,010	0,1230	0,020	0,5030	0,020	0,7203	0,030	1,809
0,011	0,1014	0,011	0,1443	0,022	0,5896	0,022	0,8421	0,032	2,010
0,012	0,1176	0,012	0,1669	0,024	0,6620	0,024	0,9712	0,034	2,219
0,013	0,1347	0,013	0,1908	0,026	0,7801	0,026	1,108	0,036	2,436
0,014	0,1529	0,014	0,2160	0,028	0,8839	0,028	1,251	0,038	2,662
0,015	0,1721	0,015	0,2424	0,030	0,9936	0,030	1,402	0,040	2,896
0,016	0,1924	0,016	0,2701	0,032	1,109	0,032	1,560	0,042	3,139
0,017	0,2136	0,017	0,2991	0,034	1,230	0,034	1,723	0,044	3,389
0,018	0,2358	0,018	0,3293	0,036	1,357	0,036	1,897	0,046	3,648
0,019	0,2591	0,019	0,3607	0,038	1,490	0,038	2,077	0,048	3,913
0,020	0,2834	0,020	0,3934	0,040	1,628	0,040	2,263	0,050	4,190
0,021	0,3088	0,021	0,4274	0,042	1,773	0,042	2,456	0,055	4,913
0,022	0,3351	0,022	0,4625	0,044	1,923	0,044	2,656	0,060	5,688
0,023	0,3626	0,023	0,4990	0,046	2,080	0,046	2,864	0,065	6,513
0,024	0,3910	0,024	0,5366	0,048	2,242	0,048	3,078	0,070	7,389
0,025	0,4206	0,025	0,5755	0,050	2,410	0,050	3,300	0,075	8,317
0,026	0,4512	0,026	0,6157	0,052	2,584	0,052	3,528	0,080	9,297
0,027	0,4828	0,027	0,6571	0,054	2,765	0,054	3,764	0,085	10,33
0,028	0,5155	0,028	0,6998	0,056	2,951	0,056	4,007	0,090	11,41
0,029	0,5494	0,029	0,7437	0,058	3,144	0,058	4,257	0,095	12,55
0,030	0,5843	0,030	0,7889	0,060	3,343	0,060	4,514	0,100	13,74
0,031	0,6203	0,032 ^b	0,8832	0,062	3,548	0,062	4,779	0,105	14,98
0,032	0,6574	0,034	0,9825	0,064	3,759	0,064	5,050	0,110	16,28
0,033	0,6956	0,036	1,087	0,066	3,976	0,066	5,329	0,115	17,63
0,034	0,7349	0,038	1,197	0,068	4,200	0,068	5,615	0,120	19,04
0,035	0,7754	0,040	1,312	0,070	4,431	0,070	5,909	0,125	20,50
0,036	0,8170	0,042	1,432	0,072	4,667	0,072	6,210	0,130	22,01
0,037	0,8597	0,044	1,557	0,074	4,911	0,074	6,518	0,135	23,59
0,038	0,9035	0,046	1,688	0,076	5,160	0,076	6,833	0,140	25,22
0,039	0,9486	0,048	1,824	0,078	5,417	0,078	7,157	0,145	26,90
0,040	0,9947	0,050	1,966	0,080	5,680	0,080	7,487	0,150	28,65
0,041	1,042	0,052	2,113	0,082	5,949	0,082	7,825	0,155	30,45
0,042	1,091	0,054	2,266	0,084	6,226	0,084	8,169	0,160	32,31
0,043	1,140	0,056	2,424	0,086	6,509	0,086	8,522	0,165	34,23
0,044	1,191	0,058	2,588	0,088	6,798	0,088	8,883	0,170	36,21
0,045	1,243	0,060	2,758	0,090	7,095	0,090	9,251	0,175	38,25
0,046	1,297	0,062	2,933	0,092	7,399	0,092	9,626	0,180	40,35
0,047	1,351	0,064 ^c	3,115	0,094	7,709	0,094	10,01	0,185	42,51
0,048	1,407	0,066	3,302	0,096	8,026	0,096	10,40	0,190	44,73
0,049	1,464	0,068	3,495	0,098	8,350	0,098	10,80	0,195	47,01
0,050	1,522	0,070	3,693	0,100	8,682	0,100	11,21	0,200	49,35
		0,072	3,898			0,105 ^b	12,26		
		0,074	4,109			0,110	13,36		
		0,076	4,326			0,115	14,51		
						0,120	15,71		
						0,125	16,96		
						0,130	18,26		
						0,135	19,62		
						0,140	21,02		
						0,145	22,49		
						0,150	24,00		

^a Ver la Tabla 5.1 para conocer las dimensiones.
^b Cambio en el incremento de la altura de carga.

Tabla 38. Valores del número de curva (CN) para los complejos suelo-cobertura. Condición de humedad antecedente II.

Uso de la tierra	Cobertura		Grupo de Suelos			
	Tratamiento o práctica	Condición hidrológica	A	B	C	D
			Número de curva (CN)			
Pastoraje Cultivos en hileras	Hileras rectas	----	77	86	91	94
	" "	Mala	71	81	88	91
	" "	Buena	67	78	85	89
	c/curvas de nivel	Buena	70	79	84	88
	c/curvas de nivel	Buena	65	75	82	86
	c/curvas de nivel y terrazas	Mala	66	74	80	82
Cultivos en hileras estrechas	" "	Buena	62	71	78	81
	Hileras rectas	Mala	65	76	84	88
	" "	Buena	63	75	83	87
	Curvas de nivel	Mala	63	74	82	85
	" "	Buena	61	73	81	84
	Curvas de nivel y terrazas	Mala	61	72	79	82
Leguminosas en hileras estrechas o forraje en rotación	" "	Buena	59	70	78	81
	Hileras rectas	Mala	66	77	85	89
	" "	Buena	58	72	81	85
	Curvas de nivel	Mala	64	75	83	85
	" "	Buena	55	69	78	83
	Curvas de nivel y terrazas	Mala	63	73	80	83
Pastos de pastoreo	" "	Buena	51	67	76	80
	Hileras rectas	Mala	68	79	86	89
	" "	Regular	49	69	79	84
	" "	Buena	39	61	74	80
	Curvas de nivel	Mala	47	67	81	88
	" "	Regular	25	59	75	83
Pasto de corte	" "	Buena	6	35	70	79
	" "	Buena	30	58	71	78
	Porque	Mala	45	66	77	83
	" "	Regular	36	60	73	79
Pantano	" "	Buena	25	55	70	77
	" "	----	59	74	82	86
Cerros tierra ²	" "	----	72	82	87	89
Pavimentos ²	" "	----	74	84	90	92

¹ Siembra tupida o al voleo

² Intercambio derecho de vía

Tabla 39. Número de curva (CN) para casos de condición de humedad antecedente I y III.

CN para condición II	CN para condiciones I y III		CN para Condición II	CN para condiciones I y III	
	I	III		I	III
	100	100		100	60
99	97	100	59	39	77
98	94	99	58	38	76
97	91	99	57	37	75
96	89	99	56	36	75
95	87	98	55	35	74
94	85	98	54	34	73
93	83	98	53	33	72
92	81	97	52	32	71
91	80	97	51	31	70
90	78	96	50	31	70
89	76	96	49	30	69
88	75	95	48	29	68
87	73	95	47	28	67
86	72	94	46	27	66
85	70	94	45	26	65
84	68	93	44	25	64
83	67	93	43	25	63
82	66	92	42	24	62
81	64	92	41	23	61
80	63	91	40	22	60
79	62	91	39	21	59
78	60	90	38	21	58
77	59	89	37	20	57
76	58	89	36	19	56
75	57	88	35	18	55
74	55	88	34	18	54
73	54	87	33	17	53
72	53	86	32	16	52
71	52	86	31	16	51
70	51	85	30	15	50
69	50	84			
68	48	84	25	12	43
67	47	83	20	9	37
66	46	82	15	6	30
65	45	82	10	4	22
64	44	81	5	2	13
63	43	80	0	0	0
62	42	79			
61	41	78			

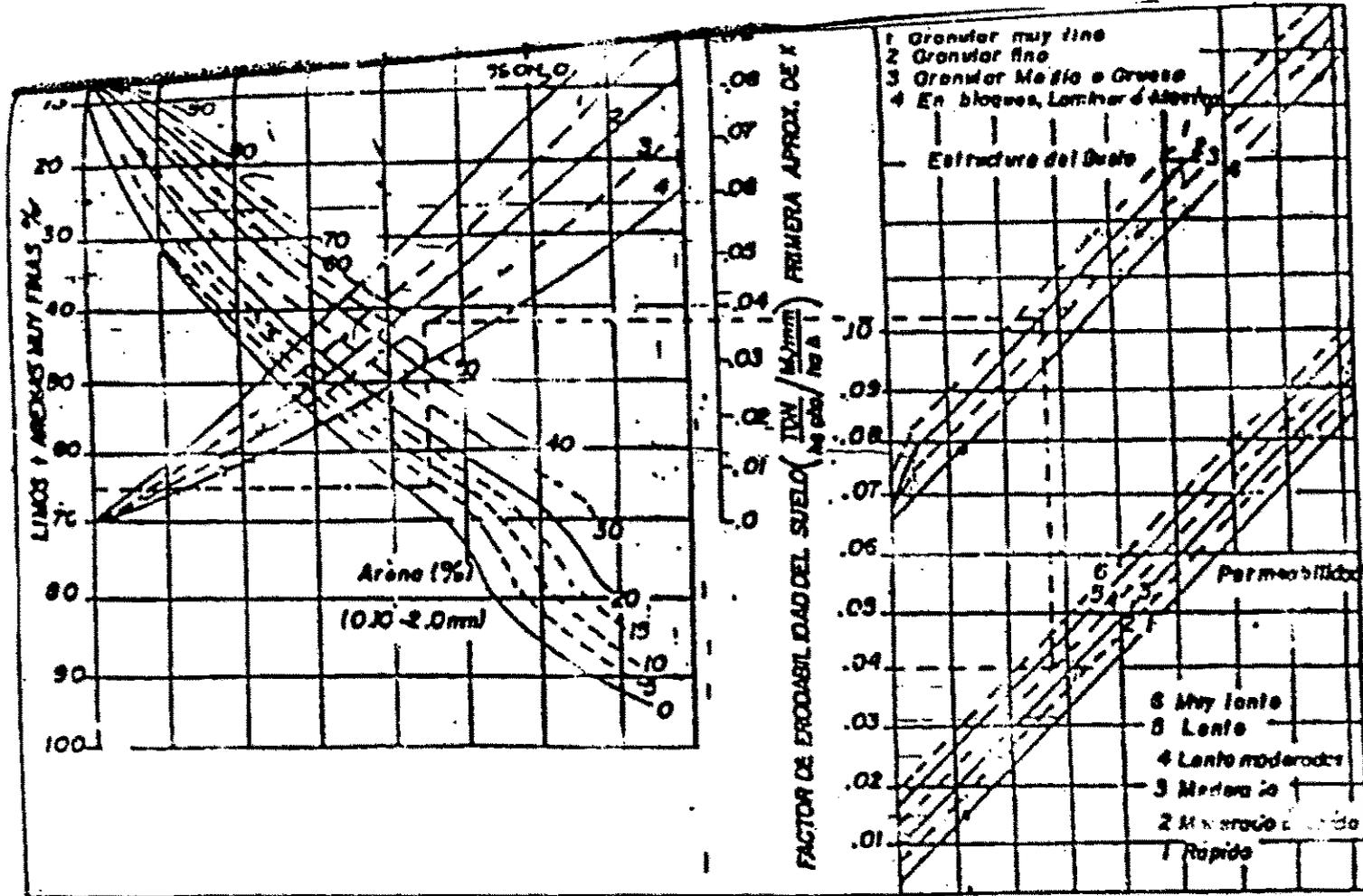


FIGURA 2.0
 NOMOGRAMA PARA LA DETERMINACION DEL VALOR DE K (WISCHMEIER et al 1971).
 MODIFICADO POR FOSTER et al (1981)

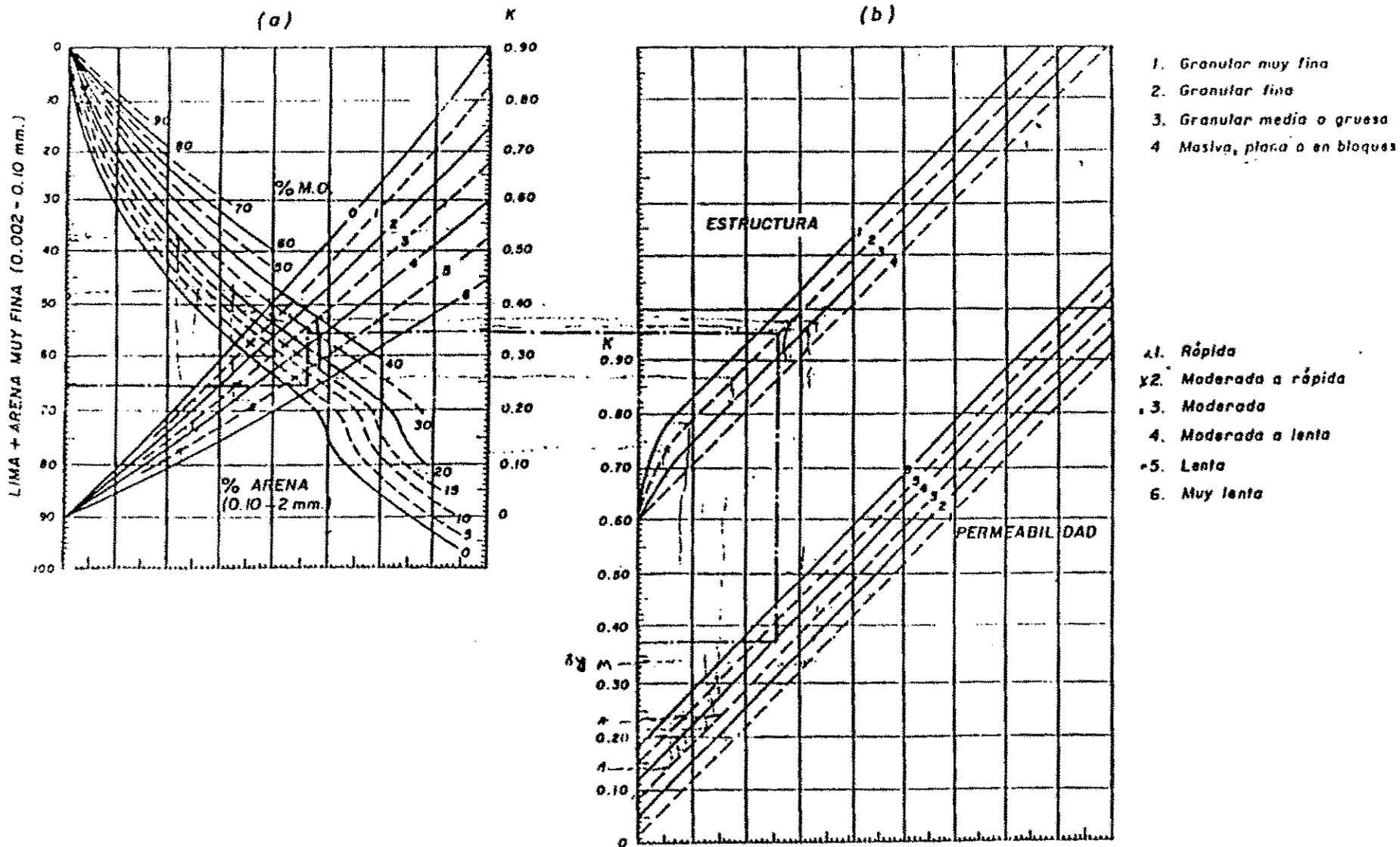


FIGURA 3:
Gráficos para el cálculo del factor de erosionabilidad del suelo, K de la USLE.