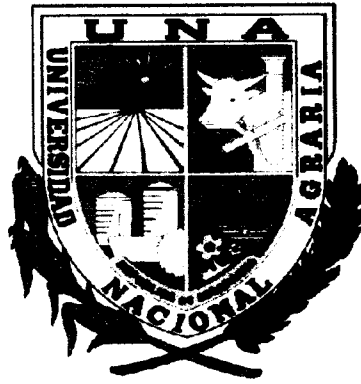


**UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA**  
**Facultad de Recursos Naturales y del Ambiente**  
**Departamento de Manejo de Cuencas y Gestión Ambiental**



**TRABAJO DE DIPLOMA**

**Simulación de la escorrentía y producción de sedimentos aplicando  
SWAT en las Microcuencas 7 y 13, Subcuenca III, Cuenca Sur del  
Lago de Managua, Nicaragua**

**Br. Mario César Gutiérrez Alarcón**  
**(Autor)**

**MSc. Ing. Matilde Somarriba Chang**  
**Ing. Andrés López**  
**(Asesores)**

**Managua, Nicaragua**  
**Enero, 2004**

## **Dedicatoria**

*A Dios sobre todas las cosas, por iluminar mis caminos, por darme sabiduría cuando más la necesitaba, y ser mi guía en todo momento.*

*A mi Madre Reneyra Alarcón Robles por dar aliento a mi vida, por su apoyo moral e incondicional y dedicar toda su vida a mi formación.*

*A la Memoria de mi Padre Mario José Gutiérrez Mejía, y sé que me ha acompañado durante toda mi vida.*

*A mi hijo Mario José Gutiérrez Paredes por ser mi fuente de inspiración, y por ser el motor que impulsa mi vida.*

# Agradecimientos

*Mis mayores agradecimientos son al Altísimo Dios Padre por llenarme de bendiciones, dones y fuerzas para continuar adelante, puesto que por su voluntad he culminado mi formación profesional.*

*A mi Esposa Maricela Paredes González por haber traído al mundo al tesoro más grande de mi vida y por brindarme su apoyo en todos mis problemas.*

*A mis Hermanos (as): Marjorie Margarita Gutiérrez Alarcón, Idania Vanesa Gutiérrez Alarcón, Ricardo Rafael Gutiérrez Alarcón, Saskia Magdiel Gutiérrez Alarcón, Edwar Jordis Gutiérrez Alarcón y Aarón Moisés Gutiérrez Alarcón.*

*A mi Abuelita Amanda Julia Mejía Tamarís.*

*A mis Tíos (as): Perla Gutiérrez Mejía, Isabel Alarcón, Augusto César Gutiérrez Mejía, Boanerge Gutiérrez Mejía, Pedro José Gutiérrez Mejía y Félix Antonio Leiva Mejía.*

*A mis Padrinos de nacimiento.*

*A mis Suegros: Marlene González Altamirano y José Dolores Paredes Henríquez.*

*A mis Asesores: MSc. Ing. Matilde Somarriba Chang, Ing. Andrés López, por facilitarme los medios, aportes, sugerencias, y seguimiento constante a mi investigación.*

*Al consorcio UNA – MIS, por brindarme todo el apoyo económico para la realización de mi tesis.*

*Y, agradezco a todos aquellos que directa e indirectamente me brindaron su apoyo moral y espiritual.*

# INDICE GENERAL

	<b>Pág</b>
<b>Dedicatoria</b>	<b>i</b>
<b>Agradecimientos</b>	<b>ii</b>
<b>INDICE GENERAL</b>	<b>iii</b>
<b>INDICE DE CUADROS</b>	<b>vi</b>
<b>INDICE DE GRÁFICOS</b>	<b>viii</b>
<b>INDICE DE ANEXOS</b>	<b>ix</b>
<b>INDICE DE MAPAS</b>	<b>xi</b>
<b>Indice de Abreviaturas Utilizadas</b>	<b>xii</b>
<b>Resumen</b>	<b>xvi</b>
<b>Summary</b>	<b>xviii</b>
<b>I. INTRODUCCIÓN</b>	<b>1</b>
<b>II. OBJETIVOS</b>	<b>3</b>
2.1. General	3
2.2. Específicos	3
<b>III. HIPÓTESIS</b>	<b>4</b>
<b>IV. ANTECEDENTES</b>	<b>5</b>
4.1. Modelos para la predicción de la pérdida del suelo	5
4.1.1. Ecuación Universal de Pérdidas de Suelos (EUPS)	6
4.1.2. Ecuación Universal Revisada de Pérdidas de Suelos (RUSLE)	8
4.1.3. Modelo ONSTAND-Foster (Rendimiento de sedimento de una pendiente compleja)	8
4.1.4. Ecuación Universal Modificada de Pérdida de Suelo (MUSLE)	8
4.1.5. Modelo de Morgan, Morgan y Finney	9
4.1.6. Modelo CREAMS	9
4.1.7. Modelo WEPP (Proyecto de Predicción de Erosión Hídrica)	9
4.1.8. Modelo GUESS	10
4.1.9. Modelo EPIC (Calculador de Impacto Erosión – Productividad)	10
4.1.10. Modelo SLEMSA	10
4.1.11. Modelo EUROSEM	11

<b>V.</b>	<b>JUSTIFICACIÓN</b>	<b>14</b>
<b>VI.</b>	<b>REVISIÓN BIBLIOGRAFICA</b>	<b>16</b>
6.1.	Cuenca hidrográfica	16
6.1.1.	Conceptos	16
6.2.	Balance hídrico	16
6.3.	La erosión del suelo	17
6.3.1.	Generalidades	17
6.3.2.	Definición de erosión	17
6.3.2.1.	Erosión geológica o natural	18
6.3.2.2.	Erosión acelerada o antrópica	18
6.3.3.	Ciclo de la erosión	19
6.3.3.1.	Fases de la erosión	19
6.3.4.	Erosión hídrica	20
6.3.4.1.	Daños que causa la erosión hídrica	22
6.3.4.2.	Factores de la erosión hídrica	22
6.3.4.3.	Factores específicos que determinan la erosión hídrica	23
6.3.4.4.	Tipos de erosión hídrica	25
6.3.5.	Técnicas para la medición de la erosión	27
6.3.6.	Tolerancia de pérdidas de suelo	29
6.3.7.	Sistemas de Información Geográfica (SIG)	30
6.3.7.1.	Aplicación de los Sistemas de Información Geográfica (SIG) con los modelos de predicción de la erosión del suelo	31
6.3.8.	El modelo SWAT (Herramienta de Evaluación de Suelos y Agua)	32
<b>VII.</b>	<b>MATERIALES Y MÉTODOS</b>	<b>35</b>
7.1.	Descripción del área de estudio	35
7.1.1.	Ubicación	35
7.1.2.	Caracterización del medio físico natural	37
7.1.2.1.	Fisiografía	37
7.1.2.2.	Geomorfología	37
7.1.2.3.	Tipo de suelo	39
7.1.2.4.	Uso de la tierra	43
7.1.2.5.	Zona de vida del área de estudio	45

7.2.	Materiales utilizados	47
7.3.	Metodología aplicada	48
7.3.1	Etapa de precampo	48
7.3.2.	Etapa de campo	48
7.3.2.1.	Flujograma de la metodología del modelo	49
7.3.2.2.	Descripción de los factores necesarios para el modelamiento: suelo, uso del suelo, clima y precipitación	50
7.3.3.	Etapa de postcampo	55
<b>VIII.</b>	<b>RESULTADO Y DISCUSIÓN</b>	<b>64</b>
8.1.	Simulación en la microcuenca siete	64
8.1.1.	Precipitación generada en la simulación	64
8.1.2.	Simulación con el mapa de uso actual del suelo	65
8.1.3.	Simulación con el mapa de uso potencial del suelo	68
8.1.4.	Comparación de la escorrentía y los sedimentos producidos por tipo de uso del suelo	70
8.2.	Simulación en la microcuenca trece	74
8.2.1.	Precipitación generada en la simulación	74
8.2.2.	Simulación con el mapa de uso actual del suelo	75
8.2.3.	Simulación con el mapa de uso potencial del suelo	76
8.2.4.	Comparación de la escorrentía y los sedimentos producidos por tipo de uso del suelo	78
<b>IX.</b>	<b>CONCLUSIONES</b>	<b>81</b>
9.1.	Microcuenca siete	81
9.2.	Microcuenca trece	82
9.3.	Sobre la metodología aplicada	84
<b>X.</b>	<b>RECOMENDACIONES</b>	<b>85</b>
10.1.	Recomendaciones para las microcuencas analizadas	85
10.2.	Recomendaciones metodológicas del uso del Modelo SWAT	86
<b>XI.</b>	<b>BIBLIOGRAFÍA</b>	<b>88</b>
	<b>ANEXOS</b>	<b>92</b>

## INDICE DE CUADROS

		<b>Página</b>
Cuadro 1	Descripción de los factores de la EUPS.	7
Cuadro 2	Clasificación de la degradación de suelos causados por erosión hídrica.	21
Cuadro 3	Técnicas para la medición de la erosión a diferentes escalas.	28
Cuadro 4	Guía para valores de tolerancia de pérdidas de suelo para distintas profundidades de raíces.	29
Cuadro 5	Coordenadas en UTM de las microcuencas 7 y 13.	36
Cuadro 6	Características de la serie San Ignacio.	41
Cuadro 7	Características de la serie Casa Blanca.	42
Cuadro 8	Características de la serie El Castillo.	43
Cuadro 9	Uso actual del suelo en la microcuenca siete.	44
Cuadro 10	Uso actual del suelo en la microcuenca trece.	44
Cuadro 11	Grupo hidrológico de las series de suelo de la microcuenca 7 y 13.	55
Cuadro 12	Conductividad hidráulica de los suelos de la microcuenca 7 y 13.	56
Cuadro 13	Valores de erodabilidad de cada horizonte del suelo.	57
Cuadro 14	Profundidad y densidad aparente de la serie San Ignacio.	57
Cuadro 15	Profundidad y densidad aparente de la serie Casa Blanca.	58
Cuadro 16	Profundidad y densidad aparente de la serie El Castillo.	58
Cuadro 17	Humedad total utilizada y espacio poroso total de las series de suelos.	58
Cuadro 18	Valores para la construcción de la curva IDF en la microcuenca 7	59
Cuadro 19	Valores para la construcción de la curva IDF en la microcuenca 13	60
Cuadro 20	Valores de las probabilidades de lluvia para la microcuenca 7	60
Cuadro 21	Valores de las probabilidades de lluvia para la microcuenca 13	61
Cuadro 22	Máxima media hora de lluvia en la microcuenca 7	62
Cuadro 23	Máxima media hora de lluvia en la microcuenca 13	62
Cuadro 24	Determinación de variables de los cultivos en la microcuenca 7	63
Cuadro 25	Resultados de escorrentía y sedimentos del uso actual y potencial del suelo en la microcuenca 7	70

<b>Cuadro 26</b>	<b>Resumen de las coberturas predeterminadas, utilizadas para la modelación por tipo de uso en la microcuenca 7</b>	<b>73</b>
<b>Cuadro 27</b>	<b>Resultados de escorrentía y sedimentos del uso actual y potencial del suelo en la microcuenca 13</b>	<b>78</b>
<b>Cuadro 28</b>	<b>Resumen de las coberturas predeterminadas, utilizadas para la modelación por tipo de uso en la microcuenca 13</b>	<b>80</b>



## INDICE DE GRÁFICOS

		<b>Página</b>
Gráfico 1	Representación gráfica del balance hídrico	33
Gráfico 2	Diagrama del ciclo hidrológico en una cuenca hidrográfica	34
Gráfico 3	Ubicación del área de estudio	36
Gráfico 4	Flujograma del modelo SWAT	49
Gráfico 5	Comportamiento de la precipitación a lo largo de los 10 años simulados en la microcuenca 7	64
Gráfico 6	Comportamiento de la escorrentía y producción de sedimentos a lo largo de los 10 de simulación con cobertura actual en la microcuenca 7	66
Gráfico 7	Comportamiento de la escorrentía y producción de sedimentos a lo largo de los 10 de simulación con el uso potencial en la microcuenca 7	69
Gráfico 8	Comparación de resultados de escorrentía y sedimentos por tipo de uso en la microcuenca 7	71
Gráfico 9	Coberturas predeterminadas utilizadas para la modelación de SWAT por tipo de uso en la microcuenca 7	73
Gráfico 10	Comportamiento de la precipitación a lo largo de los 10 años simulados en la microcuenca 13	74
Gráfico 11	Comportamiento de la escorrentía y producción de sedimentos a lo largo de los 10 de simulación con cobertura actual en la microcuenca 13	75
Gráfico 12	Comportamiento de la escorrentía y producción de sedimentos a lo largo de los 10 de simulación con el uso potencial en la microcuenca 13	77
Gráfico 13	Comparación de resultados de escorrentía y sedimentos por tipo de uso en la microcuenca 13	79
Gráfico 14	Coberturas predeterminadas utilizadas para la modelación de SWAT por tipo de uso en la microcuenca 13	80

## INDICE DE ANEXOS

	<b>Página</b>	
Anexo 1	Subcuenca III y las microcuencas en que se divide	93
Anexo 2	Suelo de la microcuenca siete	94
Anexo 3	Suelo de la microcuenca trece	95
Anexo 4	Uso actual de la microcuenca siete	96
Anexo 5	Uso actual de la microcuenca trece	97
Anexo 6	Uso potencial de la microcuenca siete	98
Anexo 7	Uso potencial de la microcuenca trece	99
Anexo 8	Modelo de elevación digital de la microcuenca siete	100
Anexo 9	Modelo de elevación digital de la microcuenca trece	101
Anexo 10	Red hídrica y punto de salida de la microcuenca siete	102
Anexo 11	Red hídrica y punto de salida de la microcuenca trece	103
Anexo 12	Clasificación hidrológica de los suelos	104
Anexo 13	Porcentajes de Arena, Limo y Arcilla del primer horizonte (A)	104
Anexo 14	Porcentajes de Arena, Limo y Arcilla del segundo horizonte (B)	104
Anexo 15	Porcentajes de Arena, Limo y Arcilla del tercer horizonte (C)	105
Anexo 16	Valores para determinar la erodabilidad del suelo del primer horizonte	105
Anexo 17	Valores para determinar la erodabilidad del suelo del segundo horizonte	105
Anexo 18	Valores para determinar la erodabilidad del suelo del tercer horizonte	105
Anexo 19	Valores del código USDA para la estructura del suelo	106
Anexo 20	Valores del código USDA para la permeabilidad del perfil	106
Anexo 21	Determinación de la erodabilidad de cada horizonte del suelo	106
Anexo 22	Intensidades de precipitación para cada duración en la microcuenca 7	109
Anexo 23	Ordenamiento de las intensidades de precipitación en la microcuenca 7	110
Anexo 24	Cálculo del período de retorno y probabilidades de ocurrencia y no ocurrencia en la microcuenca 7	110
Anexo 25	Determinación de los parámetros de la distribución teórica en la microcuenca 7	111

Anexo 26	Determinación de la distribución teórica en la microcuenca 7	111
Anexo 27	Determinación de la desviación máxima ( $\Delta$ máx) en la microcuenca 7	112
Anexo 28	Valores para la construcción de la curva IDF en la microcuenca 7	113
Anexo 29	Intensidades de precipitación para cada duración en la microcuenca 13	113
Anexo 30	Ordenamiento de las intensidades de precipitación en la microcuenca 13	113
Anexo 31	Cálculo del período de retorno y probabilidades de ocurrencia y no ocurrencia en la microcuenca 13	114
Anexo 32	Determinación de los parámetros de la distribución teórica en la microcuenca 13	114
Anexo 33	Determinación de la distribución teórica en la microcuenca 13	115
Anexo 34	Determinación de la desviación máxima ( $\Delta$ máx) en la microcuenca 13	116
Anexo 35	Valores para la construcción de la curva IDF en la microcuenca 13	116
Anexo 36	Cálculo de las probabilidades de lluvia en la microcuenca siete	117
Anexo 37	Cálculo de las probabilidades de lluvia en la microcuenca trece	123
Anexo 38	Variables de precipitación de la microcuenca 7	129
Anexo 39	Variables de precipitación de la microcuenca 13	129
Anexo 40	Variables de clima de la microcuenca 7	129
Anexo 41	Variables de clima de la microcuenca 13	130
Anexo 42	Resultados de la simulación de la escorrentía y producción de sedimentos con cobertura actual en la microcuenca 7	130
Anexo 43	Resultado de la simulación de escorrentía y producción de sedimentos con cobertura potencial en la microcuenca 7	131
Anexo 44	Resultados de la simulación de la escorrentía y producción de sedimentos con cobertura actual en la microcuenca 13	131
Anexo 45	Resultado de la simulación de la escorrentía y producción de sedimentos con cobertura potencial en la microcuenca 13	132

## INDICE DE MAPAS

		<b>Página</b>
Mapa 1	Geomorfología de la microcuenca siete	38
Mapa 2	Geomorfología de la microcuenca trece	39

## Abreviaturas utilizadas

### » Factor Suelo

#### *Variables de todo el perfil*

- SNAM : Nombre del suelo
- NUMLAYER : Número de capas que tiene el suelo
- HYDGRP : Grupo hidrológico del suelo
- ALB : Albedo del suelo
- USLE\_K : Erodabilidad del suelo
- CRK : Volumen potencial de grietas

#### *Variables para cada horizonte*

- Z : Profundidad de la capa de suelo
- BD : Densidad aparente
- AWC : Agua aprovechable en el suelo
- K : Conductividad hidráulica
- CBN : Porcentaje de carbón orgánico
- CLAY : Porcentaje de arcillas
- SILT : Porcentaje de limos
- SAND : Porcentaje de arenas
- ROCK : Contenido de rocas
- NO3 : Concentración inicial de nitrato

## ➤ Factor Clima y Precipitación

- WS Name : Comentarios del usuario
- RAIN\_HH : Lámina máxima para media hora de lluvia con frecuencia de 10 años
- RAIN\_6H : Lámina máxima para seis horas de lluvia con frecuencia de 10 años
- RAIN\_YRS : Número de años de máxima lluvia mensual en media hora
- LAT : Latitud de la subcuenca
- ELEV : Elevación de la subcuenca
- IDIST : Código de distribución de lluvias (0 distribución normal asimétrica y 1 distribución exponencial mixta)
- REXP : Valor de exponente para distribución de lluvia exponencial mixta
- TMP\_MX : Promedio máximo de temperatura de aire mensual
- TMP\_MN : Promedio mínimo de temperatura de aire mensual
- TMP\_CV : Coeficiente de variación para el promedio de temperatura por mes
- SOLAR\_AV : Promedio de radiación solar para el mes
- RAIN\_HHMX : Máxima media hora de lluvia para todo el período por mes
- P (H) : Probabilidad de día húmedo
- P (S) : Probabilidad de día seco
- PR\_W1/P (H/S) : Probabilidad de un día seco después de un día húmedo
- PR\_W2/P (H/H) : Probabilidad de un día húmedo después de un día húmedo
- PCPD : Promedio del número de días de precipitación en el mes
- PCP\_STAT1 : Promedio diario de precipitación en el mes
- PCP\_STAT2 : Desviación estándar para la precipitación diaria en el mes
- PCP\_STAT3 : Coeficiente sesgado para la precipitación diaria en el mes
- DEWPT : Promedio de la temperatura de punto de rocío en el mes
- WND\_AV : Promedio de la velocidad del viento en el mes

## »» Factor Cobertura del Suelo

- Crop Name : Nombre del cultivo cobertor
- CPNM : Código de 4 caracteres del cultivo
- WAVP : Tasa de descenso en la eficiencia de uso de la radiación por unidad de incremento en el déficit de presión de vapor
- VPTH : Umbral del déficit de presión de vapor
- T\_OPT : Temperatura óptima para el crecimiento de las plantas
- T\_BASE : Temperatura mínima para el crecimiento de las plantas
- BLAI : Máximo potencial del índice del área foliar
- IDC : Clasificación de las plantas que dan cobertura al suelo (1. leguminosa de estación cálida, 2. leguminosa de estación fría, 3. leguminosa perenne, 4. estación cálida, 5. estación fría, 6. perenne, 7. árboles)
- DLP1 : Primer punto de la curva de área foliar óptimo
- DLP2 : Segundo punto óptimo de la curva de índice de área foliar
- USLE\_C : Factor manejo de cobertura (factor C según la EUPS)
- CHTMX : Máxima altura del dosel
- RDMX : Máxima profundidad de las raíces
- DLAI : Fracción de crecimiento estacional cuando el área foliar desciende
- PT2 : Segundo punto en la curva de uso eficiente de la radiación
- CNYLD : Fracción normal de nitrógeno en semillas (estimado en base al peso seco)
- CPYLD : Fracción normal de fósforo en semillas (estimado en base al peso seco)
- WSYF : Límite bajo del índice de cosecha
- BN1 : Parámetro de extracción de nitrógeno en la emergencia (excluyendo semillas)
- BN2 : Parámetro de extracción de nitrógeno en 0.5 de maduración (excluyendo semillas)

- BN3 : Parámetro de extracción de nitrógeno en la madurez (excluyendo semillas)
- BP1 : Parámetro de extracción de fósforo en la emergencia (excluyendo semillas)
- BP2 : Parámetro de extracción de nitrógeno en 0.5 de maduración (excluyendo semillas)
- BP3 : Parámetro de extracción de nitrógeno en la maduración (excluyendo semillas)
- GSI : Máxima conductancia de estomas a alta radiación y bajo déficit de presión de vapor
- BIO\_E : Coeficiente de Biomasa – Energía
- HVSTI : Índice de cosecha



## Resumen

El presente estudio tiene como objetivo, estimar la escorrentía y la producción de sedimentos aplicando un modelo de simulación. Los escenarios aplicados se basan en el uso actual y potencial del suelo de las microcuencas siete y trece de la Subcuenca III de la Cuenca Sur del Lago de Managua. Para tal propósito se utilizó la Herramienta de Evaluación de Suelos y Aguas (SWAT) asistido por Sistemas de Información Geográfica (SIG). La escorrentía y la producción de sedimento se simularon para 10 años a partir del 2003 hasta el 2012. También se determinó la precipitación para los mismos años de simulación. Tales variables se determinaron expresando valores anuales de cada una de ellas. El modelo SWAT se ejecutó 2 veces por cada microcuenca en estudio, corriéndose una vez por cada tipo de uso del suelo. SWAT requiere de las siguientes entradas de información: tipo de suelo, uso del suelo, clima y precipitación. Cada uno de estos aspectos están constituidos por variables, las cuales fueron necesarias determinar para crear una nueva base de datos y el modelo pudiera adaptarse a las condiciones de nuestro medio. Toda esta información se transformó a formatos requeridos, para ejecutar satisfactoriamente el modelo. En la microcuenca siete que tiene un área de 266.81 hectáreas, se encontraron 2 series de suelo: San Ignacio y Casa Blanca. La primer serie cubre mayor espacio con 94.38%. Estos suelos son de origen volcánicos, taxonómicamente están dentro del orden de los Andisoles; poseen bajas densidades aparentes, altos porcentajes de materia orgánica, estructuras granulares y bloques medios y finos, por lo que son suelos muy erodables. El suelo es utilizado generalmente para la agricultura, cultivándose: frijoles, maíz, musáceas y piña. Este último cultivo ocupa una mayor extensión respecto a los otros. Además se encontraron pequeños huertos familiares que ocupan un área del 31.51% respecto a la agricultura. Esta cobertura encontrada constituyó el uso actual del suelo de la microcuenca siete. Para realizar la modelación para este tipo de uso, primeramente se reemplazó con coberturas predeterminadas por SWAT, basándose en la semejanza de los cultivos de la microcuenca con los existentes en la base de datos del modelo, agrupándose al final 2 coberturas: Agricultura genérica y Huertos. La primer cobertura ocupa un área equivalente a 68.49%. El uso potencial de la microcuenca siete propuesto es: café bajo sombra y/o bosque, cultivos anuales de uso amplio con manejo agroforestal, bosque latifoliado seco de producción y cultivos perennes en clima cálido o fresco y/o frutas. Basados en la semejanza con las coberturas que presenta SWAT en su base de datos, el uso potencial fue reemplazado; cada tipo de cobertura fue sustituida de la siguiente manera: Bosque siempre verde, Agricultura genérica, Bosque caducifolio y Bosque, respectivamente. La agricultura genérica ocupa un porcentaje de área equivalente a 62.24%, seguido por bosque siempre verde con 22.89%. Para la determinación de las variables de clima y precipitación tanto en la microcuenca siete como en la trece, primeramente se escogieron las estaciones más cercanas a cada una de las microcuencas que contaran con la información necesaria. Para este estudio se precisó buscar estaciones meteorológicas, pluviométricas y pluviográficas. Contando con registros de 10 años para ciertas variables de clima y precipitación, también se obtuvieron registros de 17 años históricos para determinar variables más específicas tales como: curvas de intensidad duración y frecuencia, máxima media hora de lluvia para todo el período por mes, entre otras. Para la microcuenca siete se obtuvieron registros de las estaciones de Masaya y de la UCA. El área de la microcuenca trece es de 143.62 hectáreas. Presenta una sola serie de suelos, El Castillo, al igual que en la microcuenca siete, estos suelos también poseen las mismas propiedades ándicas por ser de origen volcánicos, siendo muy susceptibles a la erosión hídrica.

El uso actual se encuentra constituido por las siguientes coberturas: bosque bajo abierto más café bajo sombra, bosque alto abierto más café bajo sombra, bosque alto cerrado más café bajo sombra. Esta cobertura fue reemplazada para el modelamiento por: Bosque, Bosque siempre verde y Bosque siempre verde 2, respectivamente. Esta última cobertura cubre mayor extensión, de 86.92%. El uso potencial está conformado por las siguientes coberturas: café bajo sombra y/o bosque, cultivos perennes en clima fresco o templado y/o café, bosque de conservación. Estas coberturas fueron sustituidas por las siguientes: Bosque, Bosque siempre verde y Bosque siempre verde 2, respectivamente. Al igual que en el caso anterior, el Bosque siempre verde 2 ocupa el mayor espacio, representando el 88.24%. Las estaciones escogidas para la determinación de las variables de clima y precipitación fueron: Casa Colorada en El Crucero y Campos Azules en Masatepe. El primer y segundo modelamiento se realizó en la microcuenca siete, con el uso actual y potencial respectivamente. Los resultados del primer modelamiento presentan un promedio de escorrentía producida de 106.22 mm/ha, una producción de sedimentos de 51.47 ton/ha/año y una precipitación anual de 690.25 mm, a lo largo de los 10 años de simulación. Existe un aumento respecto al promedio, en la generación de escorrentía del 1.06% y una reducción del 58.36% de producción de sedimentos con la aplicación del uso potencial. El tercer y cuarto modelamiento se ejecutó en la microcuenca trece, correspondiendo al uso actual y al uso potencial del suelo respectivamente. Los resultados promedios del tercer modelamiento indican una producción de escorrentía de 97.91 mm/ha, una producción de sedimentos de 0.80 ton/ha/año y una precipitación anual de 769.10 mm. Existe una disminución de la escorrentía del 5.69% y una disminución del 15% en la producción de sedimentos mediante la aplicación del uso potencial del suelo.

## Summary

The present study has as objective, to estimate the overflow and the production of silts applying a simulation model. The applied scenarios are based on the existing use and potential of the soil of the microwatershed seven and thirteen of the Subbasins III of the South Watershed of the Lake of Managua. For such a purpose it was used the Soils and Waters Assessment Tool (SWAT) attended by Geographic Information System (GIS). The overflow and the silt production were simulated for 10 years starting from the 2003 up to the 2012. The precipitation was also determined for the same years of simulation. Such variables were determined expressing annual securities of each one of them. The pattern SWAT was executed 2 times by each microwatershed in study, being run once by each type of use of the soil. SWAT requires of the following entrances of information: soil type, use of the soil, climate and precipitation. Each one of these aspects is constituted by variables, which were necessary to determine to create a new database and the pattern could adapt to the conditions of our means. This whole information transformed to required formats, to execute the pattern satisfactorily. The microwatershed seven has an area of 266.81 hectares, were 2 soil series: San Ignacio and Casa Blanca. The first series covers bigger space with 94.38%. These soils are of volcanic origin, taxonómicamente is inside the order of the Andisoles; they possess low apparent densities, high percentages of organic matter, you structure granular and blocks means and fine, for what they are soils very erodables. The soil is generally used for the agriculture, being cultivated: beans, corn, musáceas and pineapple. This last cultivation occupies a bigger extension regarding the other ones. They were also small family orchards that occupy an area of 31.51% regarding the agriculture. This opposing covering constituted the existing use of the soil of the microwatershed seven. To carry out the modelation for this use type, firstly it was replaced with coverings predetermined by SWAT, being based on the likeness of the cultivations of the microwatershed with the existent ones in the database of the pattern, grouping at the end 2 coverings: generic Agriculture and Orchards. The first covering occupies an equivalent area to 68.49%. The potential use of the microwatershed seven proposed it is: coffee low shade and/or forest, annual cultivations of wide use with handling agroforestral, forest dry latifoliado of production and perennial cultivations in warm or fresh climate and/or fruits. Based on the likeness with the coverings that SWAT presents in its database, the potential use was replaced; each covering type was substituted in the following way: Forest always green, generic Agriculture, Forest caducifolio and Forest, respectively. The agriculture generic squatter a percentage of equivalent area to 62.24%, always continued by forest green with 22.89%. For the determination of the climate variables and precipitation so much in the microwatershed seven as in thirteen o'clock, firstly the nearest stations were chosen each one of the microwatershed that had the necessary information. For this study was necessary to look for meteorological stations, pluviométricas and pluviográficas. Having 10 year-old registrations for certain climate variables and precipitation, 17 year historic registrations were also obtained to determine such more specific variables as: you curve of intensity duration and frequency, maxim half hour of rain for the whole period per month, among others. For the microwatershed seven registrations of the stations of Masaya were obtained and of the UCA. The area of the microwatershed thirteen are of 143.62 hectares. It presents a single series of soils, The Castle, the same as in the microwatershed seven, these soils also possess the same estates ándicas for volcanic origin being, being very susceptible to the erosion hídrica. The existing use is constituted by the following coverings: forest low open

browner low shade, forest high open browner low shade, forest high closed browner low shade. This covering was replaced for the modelamiento for: Forest, Forest always green and Forest always green 2, respectively. This last covering covers bigger extension, of 86.92%. The potential use is conformed by the following coverings: coffee low shade and/or forest, perennial cultivations in fresh or temperate and/or brown climate, conservation forest. These coverings were substituted by the following ones: Forest, Forest always green and Forest always green 2, respectively. The same as in the previous case, the Forest always green 2 squatter the biggest space, representing 88.24%. The chosen stations for the determination of the climate variables and precipitation were: he/she Marries Colored in The Cruise and Campos Blues in Masatepe. The first and second modelamiento were carried out in the microwatershed seven, with the existing use and potential respectively. The results of the first modelamiento present an average of produced overflow of 106.22 mm/ha, a production of silts of 51.47 ton/ha/año and an annual precipitation of 690.25 mm, along the 10 years of simulation. An increase exists regarding the average, in the generation of overflow of 1.06% and a reduction of 58.36% of production of silts with the application of the potential use. The third and quarter modelamiento were executed in the microwatershed thirteen, corresponding respectively to the existing use and the potential use of the soil. The results averages of the third modelamiento indicate a production of overflow of 97.91 mm/ha, a production of silts of 0.80 ton/ha/año and an annual precipitation of 769.10 mm. Exists a decrease of the overflow of 5.69% and a decrease of 15% in the production of silts by means of the application of the potential use of the soil.

## **I. Introducción**

El agua es un recurso valioso para consumo humano, uso doméstico, agrícola e industrial, que cada día es más escaso y de difícil adquisición. Paralelo a este problema, las cuencas hidrográficas proveedoras de agua, continúan degradándose sin tener estudios precisos de los efectos causados en la disponibilidad de agua para la población beneficiaria.

La búsqueda de tecnologías y esquemas para mejorar los servicios ambientales de tipo hidrológico contribuiría a la gestión sostenible del agua como recurso esencial para la vida, y permitiría aumentar la sostenibilidad ecológica, económica y social de las cuencas hidrográficas como sistema.

Las pérdidas de suelo causadas por erosión eólica e hídrica, han sucedido desde que el hombre comenzó a cultivar las tierras. Este proceso puede llevarse a cabo de manera natural o inducida por las diferentes actividades realizadas por el hombre. Se dice que la erosión tiene como objetivo conformar la superficie terrestre y se define como la cantidad de suelo retirado por la acción dispersante de las gotas de lluvia o por el viento. La erosión puede causar 5 tipos de daños: pérdida del agua, pérdida del suelo, formación de zanjas y barrancos, parcelación de los campos en pedazos irregulares y la sedimentación que ocurre cuando el suelo removido se deposita en los lechos de los ríos, puertos y zonas inundadas.

El manejo del agua y del suelo ha determinado el destino de muchas naciones. Los suelos son la base natural donde crecen las plantas que producen alimentos para la humanidad, animales y materia prima para la industria. Es importante saber que un cm de suelo tarda cientos y hasta miles de años en formarse y puede ser arrastrado por un solo aguacero o viento fuerte en tan solo instantes (Aschroft y Brown, 1975 tomado de Rivera, 2002). De la tierra usada para la producción de cultivos a nivel mundial, se ha estimado que cerca de 30 millones de hectáreas se han vuelto inútiles para la producción y una cantidad similar sigue la misma tendencia (Millar et al., 1971 tomado de Rivera, 2002).

La preocupación actual sobre el deterioro del medio físico natural de la subcuenca III de la Cuenca Sur del Lago de Managua, y en especial de las subcuencas 7 y 13, exigen que se lleven a cabo estimaciones de escorrentía y sedimentos mediante la aplicación de métodos y modelos de predicción, necesario para el diseño de obras de drenaje y estructuras hidráulicas, para una valoración económica de los recursos suelo y agua, recomendaciones técnicas sobre el manejo de los sistemas de cultivos, y en fin para la toma de decisiones en el manejo apropiado e integral de la subcuenca. Para tratar de resolver esta necesidad se realizará la modelación de la Herramienta de Evaluación de Suelos y Agua (SWAT), la cual predecirá la cantidad de sedimentos desprendidos y la generación de agua a lo largo de 10 años de evaluación.

Destacando que la importancia que toma el agua en este estudio no es precisamente como un recurso del cual se pueda aprovechar para diferentes usos, sino como un factor que influye directamente en la producción de sedimentos en las microcuencas en evaluación, por lo que se hará mayor énfasis en el proceso de la erosión de los suelos, considerando el agua como parte del proceso de la erosión hídrica.

La información hidrológica y edafológica generada en las microcuencas 7 y 13, es de suma relevancia para apoyar la toma de decisiones sobre políticas de uso de la tierra y manejo de drenajes pluviales que se lleven a cabo, y asimismo, sea una fuente importante de información que permita prever los altos riesgos en la producción agrícola que traen consigo las pérdidas de suelo, al igual que en el entorno del medio natural.

Actualmente existen modelos digitales que predicen las pérdidas de suelo ocurridas a lo largo del tiempo producto de la escorrentía. El trabajo se enfatiza en las predicciones de la escorrentía y sedimentos, donde se aplicará el modelo en cuestión, el cual es una Herramienta de Evaluación de Suelos y Agua, el cual permite predecir el impacto del manejo del suelo en la generación del sedimento y los caudales de una cuenca hidrológica. Se hará la simulación de la escorrentía y sedimentos para 10 años.

## **II. Objetivos**

### **2.1. General**

⇒ Modelar la escorrentía y producción de sedimentos en las microcuencas 7 y 13 frente a condiciones agroecológicas y edáficas distintas dentro de la Subcuenca III de la Cuenca Sur del Lago de Managua aplicando la Herramienta de Evaluación de Suelos y Agua (SWAT).

### **2.2. Específicos**

2.2.1. Determinar la precipitación anual para cada microcuenca en base a la información pluviométrica, pluviográfica y climática introducida en SWAT, en el 2003.

2.2.2. Predecir anualmente la escorrentía y la producción de sedimentos tomando en cuenta el uso actual y potencial del suelo en las microcuencas en evaluación.

2.2.3. Comparar los resultados de escorrentía y producción de sedimentos entre el uso actual y potencial del suelo de cada microcuenca.

### **III. Hipótesis**

La Herramienta de Evaluación de Suelos y Agua (SWAT) es un modelo que permite predecir la cantidad de agua y sedimentos, así como la precipitación que se producirá en las microcuencas 7 y 13 de la Subcuenca III de la Cuenca Sur del Lago de Managua, en función del manejo del suelo y sus características físicas, de la precipitación y del clima predominante en la zonas de estudio, tomando en cuenta que la aplicación de este modelo ha generado buenos resultados en condiciones similares a las de nuestro medio.



## **IV. Antecedentes**

El fenómeno biofísico más importante de una cuenca, lo constituye la entrada y salida del agua en el área de captación, determinando así el balance hídrico de la cuenca, el cual se ve influenciado por muchos factores, siendo la cobertura vegetal el de mayor importancia.

En la microcuenca siete, el problema que persiste actualmente es la constante pérdida de suelo y más aún en época de lluvia, que por falta de prácticas en los diferentes sistemas de cultivos, los hacen más vulnerables; en cada evento lluvioso la cantidad de sedimento producido es tal que la capa de suelo cada vez se va reduciendo aceleradamente producto de la escorrentía superficial.

La microcuenca trece que está ocupada por una vegetación boscosa, las tasas de erosión por lo tanto serán menores en comparación con las ocurridas en la microcuenca siete, existiendo mayor infiltración del agua que entra en forma de precipitación.

Tanto en la microcuenca siete como en la microcuenca trece, los volúmenes de agua y sedimentos generados, siguen un curso pasando muchas veces por cauces-caminos y zonas pobladas principalmente por el municipio de Ticuantepe, la red de alcantarillado de Managua, hasta desembocar al Lago Xolotlán.

### **4.1. Modelos para la predicción de la pérdida del suelo**

Durante muchos años, los especialistas en conservación de suelos han tratado de calcular las pérdidas de suelos a partir de campos o pendientes individuales, para determinar las prácticas de uso de la tierra que asegurarán una productividad a largo plazo para el suelo (Kirkby & Morgan, 1984).

Existen distintos términos comunes que para mayor comprensión del estudio se describen a continuación: la erosión de suelos, la pérdida de suelos y la acumulación de sedimentos, que difieren en su significado. La erosión de suelos es la cantidad bruta de suelo retirado por la

acción dispersante ya sea por el agua o por el viento. La pérdida de suelo es el suelo desprendido de un campo o pendiente determinados. La producción de sedimentos es la pérdida de suelos depositada de un punto que está bajo evaluación (Kirkby & Morgan, 1984).

#### **4.1.1. Ecuación Universal de Pérdidas de Suelos (EUPS)**

Las técnicas de predicción de pérdidas de suelos se han desarrollado a lo largo de muchos años como resultado de la creciente comprensión del proceso de la erosión. Los primeros cálculos eran de naturaleza cualitativa que ilustraban que algunas prácticas de cultivo diferían en cuanto a su capacidad para controlar la erosión de los suelos. Inicialmente se desarrollaron ecuaciones para describir las pérdidas de suelo mediante una variable independiente única. Estas ecuaciones eran para situaciones locales donde otros factores contribuyentes eran casi constantes. A medida que se dispuso de más datos se formularon ecuaciones de múltiples variables, y es así como nace la Ecuación Universal de Pérdidas de Suelo (EUPS) [Kirkby & Morgan, 1984].

La Ecuación Universal de Pérdidas de Suelos fue desarrollada en el Centro Nacional de Esguimientos y Pérdidas de Suelo, establecido en 1954 por el Servicio de Investigaciones Agrícolas (ARS), por Wishmeier, Smith y colaboradores junto con el U.S Department of Agriculture (USDA), la ARS, Soil Conservation Service (SCS) y la Universidad de Purdue en los Estados Unidos de Norteamérica (Morgan, 1997).

La Ecuación Universal de Pérdidas de Suelo fue creada para (Jones et al., 2000):

- ⇒ Predecir el movimiento promedio anual de suelos desde una pendiente específica, bajo condiciones de uso y manejo específicos.
- ⇒ Orientar la selección de prácticas de conservación para localidades específicas.
- ⇒ Estimar la reducción de pérdida de suelos que se puede lograr con cambios de manejo efectuados por el agricultor.
- ⇒ Determinar el largo máximo de pendiente tolerable para un sistema de cultivo determinado.

La EUPS utiliza seis factores (cuadro 1): erosividad de la lluvia (R), susceptibilidad de erosión del suelo (K), largo de la pendiente (L), magnitud de la pendiente (S), cubierta y manejo de los cultivos y residuos (C), y prácticas conservacionistas (P), para estimar la pérdida de suelo promedio (A) en toneladas / hectáreas / año (Jones et al., 2000).

$$A = R \times K \times L \times S \times C \times P \text{ (ver Cuadro 1)}$$

Cuadro 1. Descripción de los factores de la EUPS (Jones et al., 2000)

<b>A</b>	Es la pérdida de suelos calculada por unidad de superficie, expresada en las unidades seleccionadas para K y el período seleccionado para R, generalmente toneladas (t) hectárea (ha) <sup>-1</sup> año <sup>-1</sup> .
<b>R</b>	El factor lluvia y escurrimiento, es el número de unidades de índice de erosión pluvial (EI), más un factor para escurrimiento por derretimiento de nieve o aplicación de agua. El EI para una tormenta es el producto de la energía total de la tormenta (E) y su máxima intensidad en 30 minutos (I).
<b>K</b>	El factor susceptibilidad de erosión del suelo, es la tasa de pérdida de suelos por unidad EI para un suelo específico, medido en una porción de terreno estándar (22.13 m de largo, 9% pendiente, en barbecho y labranza continua).
<b>L</b>	El factor de largo de la pendiente, es la proporción de pérdida de suelos en el largo de la pendiente específica con respecto a un largo de pendiente estándar (22,13 m).
<b>S</b>	El factor de magnitud de la pendiente, es la proporción de pérdida de suelos de una superficie con una pendiente específica con respecto a aquella en la pendiente estándar de 9%, con todos los otros factores idénticos.
<b>C</b>	El factor cubierta y manejo, es la proporción de pérdida de suelo en una superficie con cubierta y manejo específico con respecto a una superficie idéntica en barbecho, con labranza continua.
<b>P</b>	El factor de prácticas de apoyo de conservación, es la proporción de pérdida de suelo con una práctica de apoyo como cultivo en contorno, barreras vivas, o cultivo en terrazas, con respecto a aquella labranza en el sentido de la pendiente.

#### **4.1.2. Ecuación Universal Revisada de Pérdidas de Suelos (RUSLE)**

La EUPS, sin embargo, con la realización de más estudios y la disposición de más datos, tuvo que modificarse para predecir con mayor precisión las pérdidas por erosión de los suelos. Una primera modificación es la RUSLE (Ecuación Universal de Pérdida de Suelo Revisa), la que fue desarrollada para superar algunas de las limitaciones que presenta la EUPS, utilizando los mismos factores que integran a la EUPS (Morgan, 1997).

#### **4.1.3. Modelo ONSTAND-Foster (Rendimiento de sedimento de una pendiente compleja)**

También existen otros modelos basados en la EUPS tal como el Método de ONSTAND-Foster (AOF). La metodología AOF es un procedimiento matemático que sirve para estimar los potenciales de desprendimiento y transporte del suelo, incluyendo las proporciones relativas de erosión en surcos e Intersurcos, para laderas compuestas por uno o más segmentos con distintas características. Utiliza una versión modificada de la EUPS para estimar el desprendimiento de suelo (Morgan, 1997 y Jones et al., 2000).

#### **4.1.4. Ecuación Universal Modificada de Pérdida de Suelo (MUSLE)**

En el transcurso del tiempo surgió otro modelo de estimación de pérdida de suelo, la Ecuación Universal Modificada de Pérdida de Suelo (MUSLE). Esta ecuación fue desarrollada por Williams J. R en 1975, la cual es un modelo de parámetro agrupado que estima el rendimiento de sedimento de cuencas para un evento pluvioso único y utiliza un factor de escurrimiento para reemplazar el factor de energía pluvial de la EUPS. Se recomienda para cuencas con 100 km<sup>2</sup> de superficie (Morgan, 1997 y Jones et al., 2000).

#### **4.1.5. Modelo de Morgan, Morgan y Finney**

Morgan y Finney, (1984), desarrollaron un modelo que llevan sus mismos nombres, queriendo mantener la sencillez de la EUPS, incorporaron las últimas investigaciones para predecir la erosión en parcelas limitadas situadas en laderas gracias a la ayuda de geomorfólogos e ingenieros agrónomos (Morgan, 1997).

#### **4.1.6. Modelo CREAMS**

Por otro lado, existe un modelo desarrollado para evaluar la contaminación difusa y para investigar cuantitativamente las consecuencias ambientales de distintas prácticas agrícolas, este es el “CREAMS” (Chemicals, Runoff and Erosion from Agricultural Management Systems). Cuenta con tres componentes: Hidrología, Erosión y Química (Morgan, 1997).

#### **4.1.7. Modelo WEPP (Proyecto de Predicción de Erosión Hídrica)**

Un modelo basado en procesos que se apoya en los conocimientos modernos sobre hidrología y erosión “Modelo WEPP” (Water Erosion Prediction Project), fue diseñado para reemplazar la EUPS en las valoraciones rutinarias de erosión del suelo por organizaciones comprometidas en la conservación del agua y del suelo. Este modelo consiste en una simulación continua capaz de predecir la pérdida y la distribución espacial, temporal y continua de suelo, al igual que el sedimento producido por la escorrentía que fluye por la pendiente. Se aplica en áreas de un tamaño entre unos cientos hasta 1000 hectáreas. Los procesos de este modelo están limitados a la erosión laminar y en surcos, y a la erosión que ocurre en canales donde el desprendimiento se debe al deslizamiento hidráulico (Morgan, 1997 y Jones et al., 2000).

#### **4.1.8. Modelo GUESS**

Un modelo de simulación de la erosión del suelo “Modelo GUESS” (Griffith University Erosion Sedimentation System), fue desarrollado para simular los procesos de erosión a lo largo de una ladera así como su deposición. El modelo se difiere del CREAMS y del WEPP en que divide la superficie del suelo en 2 partes: la que está en el suelo original con cierto grado de cohesión y la comprendida recientemente desprendida sin cohesión. Describe al suelo con 50 clases, no 8 (según clasificación USDA) [Mogan, 1997].

#### **4.1.9. Modelo EPIC (Calculador de Impacto Erosión – Productividad)**

En 1981 la USDA diseñó un modelo con el objetivo de resolver el problema de la erosión de los suelos debido a las cosechas, conocido como “Modelo Calculador del Impacto Erosión-Productividad (EPIC). El modelo EPIC, es un modelo a escala de campo, de tiempo continuo, diseñado para simular la respuesta de sistemas complejos de cultivo al clima, a los suelos y al manejo y conservación de suelos (Williams, et al., 1984; Williams y Renard, 1985 citado por Jones, 2000). Utiliza una escala de horario diaria para simular clima, hidrología, erosión hídrica y eólica del suelo, labranza, ciclos y pérdidas de nitrógeno y fósforo, ciclos y pérdidas de plaguicidas, temperatura del suelo, manejo de cultivos, crecimiento y rendimiento de cultivos, y economía.

#### **4.1.10. Modelo SLEMSA**

Con datos de Zimbaue (África), se desarrolló y aplicó el “Modelo SLEMSA” (Soil Loss Estimator for Southern Africa), para evaluar la erosión resultante en diferentes sistemas agrícolas y para recomendar las medidas adecuadas de conservación adoptados para países del sur de África (Morgan, 1997).

#### **4.1.11. Modelo EUROSEM**

En Europa se diseñó el “Modelo EUROSEM” (European Soil Erosion Model) basado en suceso y desarrollo para computar el transporte de sedimentos, la erosión y la deposición sobre la superficie del suelo como consecuencia de una tormenta desarrollándose en partículas o en pequeñas cuencas (Morgan, 1997).

A parte de estos modelos también existen otros que se emplean para la predicción de la erosión y producción de sedimentos, entre ellos están: Modelo de Erosión Eólica (WE), Simulador de Recursos Hidráulicos en Cuencas Rurales (SWRRB), Contaminación Agrícola por Fuente Indeterminada (AGNPS) [Jones et al., 2000].

Existen algunos trabajos que han hecho uso de la Ecuación Universal de Pérdidas de Suelo (EUPS) para evaluar las pérdidas de suelos, entre estos tenemos: un estudio de 1997 que consistía en la evaluación de los factores de la EUPS en la microcuenca “D” de la Cuenca Sur del Lago de Managua. Se determinó las pérdidas de suelo, la influencia de la cobertura vegetal de los cultivos de maíz y frijol haciendo uso de la metodología de Coshoton (Guido, 1997). En otro trabajo de investigación realizado en 1997, se utilizaron cuatro factores de la EUPS para evaluar el riesgo de erosión hídrica en la cuenca hidrográfica de Santa Catarina en el Estado de Querétaro, México. El riesgo fue evaluado mediante el análisis multiplicativo de los siguientes factores: el factor que involucra la potencialidad erosiva de la lluvia y del escurrimiento (factor R), la susceptibilidad del suelo a la erosión (factor K) y del efecto del arado (factor S) y longitud de la pendiente (factor L) [Montes et al., 1997].

En la investigación realizada en la subcuenca El Pital en Nicaragua, se usó la EUPS para hacer un estudio comparativo de la incidencia de erosión causada por los cambios de uso de la tierra a través del tiempo. La subcuenca El Pital está formada por 17 comarcas, y se evaluó el riesgo de erosión desde 1968, 1987 hasta 1996. En 1996, once de las 17 comarcas presentaban un riesgo estimado de erosión cerca de 40 toneladas por acre por año. Comparando de 1968 a 1996, solamente una de las 17 comarcas tenía un riesgo de erosión cerca de 40 toneladas por acre por año. El uso de la tierra en la cuenca El Pital cambió dramáticamente de 1968 a 1996. De 1968 a

1987, el área forestal, cultivos mixtos, y las áreas de pastos mixtos, se redujeron en un 51%, 62%, y 67%, respectivamente. De 1968 a 1987, la proporción de cultivos anuales aumentó en un 29% y la proporción de cultivos perennes aumentaron en un 14%. (Somarriba et. al, 1999).

Se han evaluado algunas técnicas que hacen uso de los factores de la EUPS, entre éstas tenemos la técnica del Mini-Simulador de Lluvia, la cual ha sido aplicada para conocer cómo influyen algunos factores sobre el escurrimiento superficial, y en las pérdidas de suelo, en un estudio realizado en los suelos del Plantel de la Universidad Nacional Agraria, Managua en 1989. Se utilizaron tres clases de textura de suelos, dos tipos de cobertura vegetal y dos grados de humedad del suelo; Esto para conocer el índice de erodabilidad por un lado, y por otro se evaluaron los factores descritos anteriormente para determinar el escurrimiento superficial, las pérdidas de suelo y la concentración de sedimentos (Gámez, 1989). Esta técnica también ha sido aplicada en un estudio realizado en la cuenca Sur del Lago de Managua en 1990 con el propósito de determinar la erodabilidad del suelo, donde se correlacionó el índice de erodabilidad simulado, con el índice obtenido a través del nomograma de Wishmeier (Murillo, 1990).

En otros estudios de investigación han utilizado diferentes modelos para determinar las pérdidas de suelos, entre los cuales tenemos: un estudio realizado en el 2001 en la microcuenca Wibuse-Jícaro, en el municipio de San Dionisio del Departamento de Matagalpa, consistente en la evaluación de cuatro modelos de predicción de pérdidas de suelo, con el propósito de identificar posibles alternativas de manejo a nivel de microcuenca a través del reconocimiento del mejor modelo adaptado a la zona. Los modelos utilizados fueron: modelo de Williams, la Ecuación Universal de Pérdidas de Suelos (EUPS), Ecuación Universal de Pérdidas de Suelos Modificada (MUSLE), y el Índice de Fournier. Se evaluaron todas las variables de la EUPS (R, K, L, S, C y P), las pérdidas reales por evento lluvioso y las pérdidas de suelo de los otros modelos evaluados (Reyes, 2001). Con el objetivo de conocer las tasas de erosión se ha utilizado la Ecuación Universal de Pérdidas de Suelo Revisada (RUSLE), la cual ha sido aplicada en la cuenca de Taquiña, Bolivia en el 2001 (Antezana, 2001).

En 1991 se hizo un estudio en la subcuenca Khara Jalanta de Misicuni de la ciudad de Cochabamba, Bolivia, donde se aplicó un modelo de erosión basado en la ecuación de Morgan y



Finney, con el fin de validar su comportamiento en la estimación de las pérdidas de suelo en zonas altas (montañosas). El modelo presentó la ventaja de que está en función de muchos parámetros para obtener estimaciones cuantitativas, pero no así con los parámetros para erosión por flujo superficial y de campo, los cuales deben ser probados y estimados con tratamiento geoestadístico para su uso en pequeñas cuencas (Miguel, 1991).

En Nicaragua existe referencia de la aplicación del modelo EUROSEM en un estudio de erosión de suelos. En la evaluación del modelo EUROSEM para Nicaragua se utilizaron datos de parcela de erosión coleccionados durante el período 1993-1995. Se hicieron las calibraciones del modelo primero basado en la esorrentía total seguido de una calibración de pérdida total de suelo usando el conjunto de datos de 1993 (Veihe et. al, 2001)

Se realizó un estudio hidrológico en la subcuenca III en el 2002, con el propósito de mitigar las inundaciones en dicha subcuenca, a través de un diseño de proyecto para nuevas obras hidráulicas, prácticas de conservación de suelos y agua en agricultura de laderas y conservación del bosque de la cuenca media y baja. Este estudio se basó en la modelación hidrológica mediante la aplicación del modelo SWMHYMO, con el cual se realizaron cálculos de caudal y niveles de agua en relación a capacidad de cauce, para la identificación y priorización de sitios críticos (susceptibles a inundaciones) [INTERCONSULT, 2002].

Y por último, existe una referencia de la aplicación del modelo SWAT (modelo sujeto a evaluación en el presente estudio) en Honduras. La modelación se hizo específicamente en la microcuenca del Río Cumes, Jesús de Otoro, Intibueca en el 2002. El trabajo se basó en la determinación de la esorrentía y sedimentos, modelándose para 10 años, tomando en cuenta el tipo y uso del suelo presente. Se realizó una comparación del caudal de los aforos en un punto con el caudal simulado para ese mismo punto aplicando SWAT, y se notó que el valor simulado se aproximó bastante al real. Pero, por falta de información climática suficiente, el comportamiento de la precipitación no fue tan real para los 10 años (León, 2002).

## **V. Justificación**

El régimen de las corrientes hídricas de las microcuencas es de carácter efímero, presentando caudal solamente durante los eventos de precipitación en la época lluviosa (Mayo a Octubre). Debido a esto no es posible hacer aprovechamiento de estas fuentes superficiales ni para la agricultura ni para el consumo humano. Por lo anterior el estudio enfoca su importancia hacia el proceso de escurrimiento y erosión que sufre el territorio.

La erosión se considera la forma más significativa de degradación de los suelos en Nicaragua y está estrechamente vinculada entre el uso y manejo de la tierra, las características naturales del suelo y su vegetación, el relieve y las fuerzas erosivas del agua y del viento. La deforestación indiscriminada, el crecimiento desordenado de la agricultura y la ganadería, el inadecuado uso y manejo del suelo, la predominancia de sistemas anuales de producción en monocultivo, y el uso de los suelos en desacuerdo con sus potencialidades, constituyen las causas más importantes de la erosión.

La erosión hídrica se erige como la forma fundamental de degradación de los suelos a nivel nacional, aproximadamente 7.7 millones de hectáreas del territorio nacional presentan grados variables de erosión, de los cuales según algunos estudios, 3.6 millones de hectáreas presentan un grado de erosión catalogado de fuerte a severo (MEDE et. al, 1994).

Evidentemente, con la prevalencia de las actuales prácticas agropecuarias es de esperarse un mayor deterioro del recurso suelo y en muchos casos a su abandono por la disminución parcial o total de su productividad.

Con este estudio en las microcuencas 7 y 13 de la subcuenca III, se examinan las pérdidas de suelo por escurrimiento, frente a distintas condiciones de suelo, uso y cobertura del mismo, a nivel de una unidad hidrográfica (microcuenca). Debido a que la disponibilidad de agua en el suelo es un factor determinante en la calidad y magnitud de la producción agrícola, es de vital

importancia tener un previo conocimiento de las tasas de escurrimiento y erosión originadas de forma natural o inducidas por el hombre.

Para el aseguramiento de las cosechas y protección de los recursos naturales, se hace importante conocer el comportamiento de la masa superficial de suelo que contiene a la vez, los elementos nutritivos esenciales para el desarrollo de los cultivos, y sirve de depósito de agua para satisfacer las necesidades hídricas de los mismos.

El fenómeno de la erosión hídrica (el cual es la más importante por los daños que provoca) contribuye al desplazamiento del suelo debido a la escorrentía generada en un evento lluvioso, agregando a esto diversos factores (clima, vegetación, manejo del suelo, tipo de suelo, entre otros). El conocimiento del volumen de agua y sedimentos producidos, es de gran significado para proponer y establecer estrategias que aseguren la producción agrícola incorporando prácticas adecuadas que ayuden a mitigar tal fenómeno y a mejorar los suelos.

Por tal razón, el presente estudio está dirigido a la aplicación del modelo SWAT, el cual predecirá la carga de sedimentos y la generación de agua en las microcuencas con las condiciones antes mencionadas. Lo más relevante del estudio es que se determinarán para 10 años la escorrentía y sedimentos, ayudando a la formulación de prácticas sostenibles, y a la construcción de obras de control hidrológico.

Este trabajo servirá como una pauta para futuros estudios que tengan como objetivo diseñar y establecer prácticas dirigidas a dar solución y/o a reducir el impacto generado por el tipo de manejo actualmente implementado; todo esto con el fin de contribuir al mejoramiento del estado económico del productor y a la vez tratar de minimizar el deterioro constante a los recursos, en este caso del suelo y del agua.

## **VI. Revisión de Literatura**

### **6.1. Cuenca hidrográfica**

Para estudiar el comportamiento de una cuenca hidrográfica, es necesario entender las entradas y salidas de agua del sistema, y comprender que las funciones hidrológicas están influenciadas por varios factores entre ellos, el tamaño de la cuenca, cantidad e intensidad de la precipitación, suelos y principalmente la cobertura vegetal y sus características.

#### **6.1.1. Conceptos**

Se puede definir como cuenca hidrográfica el área geográfica en la cual todo el agua que cae por precipitación, drena o corre a un cauce común llamado río, quebrada, arroyo, nacimiento, etc, sus límites físicos son las partes altas o parte aguas de las montañas (Oyuela, 1999).

También se conceptualiza como el área que drena en un cauce común y en la cual interactúan hombre, animales y plantas, generando ecosistemas específicos, cuyo funcionamiento involucra muchos procesos geológicos, físicos, químicos, biológicos y humanos (Hynes, 1992; citado por Sosa 2000).

### **6.2. Balance hídrico**

Es un fenómeno biofísico constituido por las entradas y salidas de agua en una cuenca hidrográfica. El balance hídrico ayuda a determinar la disponibilidad de agua en el tiempo y espacio, y siempre se utiliza para identificar el conflicto de déficit o falta de agua si ésta se compara con la demanda.

### **6.3. La erosión del suelo**

#### **6.3.1. Generalidades**

Debido al alto crecimiento demográfico, los recursos naturales se hacen tan limitados que un pequeño desequilibrio en estos, causa gran degradación natural, la que después se transforma en devastación de impactos irreversibles de tratamiento costoso, tanto económico como social, transformándose o perdiéndose irremediabilmente un determinado paisaje o ambiente natural (Miguel, 1991).

El equilibrio favorable entre la erosión del suelo y la formación de nuevas tierras que prevalece bajo condiciones naturales, fue alterada casi desde el momento mismo en que el hombre empezó a cultivar la tierra para procurarse los alimentos. Al eliminar la vegetación nativa y roturar la superficie de la tierra con rudimentarios implementos, los primitivos agricultores y sus sucesores, aceleraron inconscientemente el grado de remoción del suelo (Morales, 1996).

Es probable, sin embargo, que el cultivo de la tierra continuara por siglos antes de que se reconociera la erosión como uno de los problemas de la humanidad. Sólo cuando la densidad de población obligó a que se cultivaran las laderas empinadas y los terrenos inestables, fue que la gente comenzó a constatar vagamente, que la tierra puede desgastarse con rapidez por la acción de la lluvia y del viento (Morales, 1996).

#### **6.3.2. Definición de erosión**

La palabra erosión se deriva del latín *Erosio*, que significa roedura: derivado de *Erodere*, que significa corroer. La erosión tiene como objetivo básico conformar la superficie terrestre y este proceso ha existido desde que la tierra fue formada (Rívera, 2002 tomado de Millar et al, 1971).

Kirkby y Morgan (1984) definen a la erosión como la cantidad bruta de suelo removida por acción del viento o del agua; es un fenómeno en el que intervienen un objeto pasivo que es el suelo, dos agentes activos que son el agua y el viento y un intermediario que es la vegetación que regula sus relaciones. Según el manual de conservación de suelos de ladera, elaborado por la

Federación Nacional de Cafeteros de Colombia (1975), la erosión es el desprendimiento y arrastre del suelo causado por el agua o por el viento, o su remoción en masa. Indica además que en general, existen dos tipos de erosión: la erosión geológica o natural y la erosión acelerada o antrópica.

#### **6.3.2.1. Erosión geológica o natural**

Denominada también erosión Normal, Telúrica, Natural o Histórica. Es el desgaste natural de la superficie de la tierra sin intervención del hombre y por lo tanto, fuera de su control. Es ocasionada por la acción constante de los diversos fenómenos del intemperismo natural (Morales, 1996). Los factores que actúan en este tipo de erosión son; el agua de lluvia, las corrientes fluviales, el mar, el viento, la temperatura y la gravedad. Es un proceso lento e imperceptible que tiende a buscar una estabilidad de la superficie en equilibrio entre el suelo, la vegetación, los animales y el agua, y que aún continúa en muchas regiones jóvenes de la tierra. La erosión geológica contribuye a la formación del relieve, a la meteorización de las rocas y a la formación de los suelos (Federación Nacional de Cafeteros de Colombia, 1975).

#### **6.3.2.2. Erosión acelerada o antrópica.**

Se le conoce como la erosión Acelerada, Edáfica, Subnormal o Antropogénica (Morgan, 1997). Es la erosión rápida del suelo propiciada por el hombre al romper el equilibrio entre los suelos, la vegetación y el agua o el viento. El hombre favorece la acción erosiva del agua y el viento, especialmente en los terrenos en pendiente, al usar sistemas y herramientas inadecuadas en los cultivos, al talar los bosques o quemar la vegetación, al construir obras o vías de comunicación.

Los daños que provoca este tipo de erosión de manera general son (Morgan, 1997):

- ⇒ Destrucción de la vegetación natural,
- ⇒ Introducción de cultivos en áreas con pendientes fuertes (laderas),
- ⇒ Laboreo excesivo del suelo,
- ⇒ Surcado en sentido de la pendiente,
- ⇒ Sobrepastoreo,

- ⇒ Tala y destrucción de los bosques,
- ⇒ Mal uso y manejo de los suelos, entre otros.

### **6.3.3. Ciclo de la erosión**

Morgan (1997) considera en sus escritos que la erosión es un proceso de acción de los factores del medioambiente sobre el terreno, donde se pueden considerar dos fases consistentes en el desprendimiento de partículas individuales de la masa del suelo y transporte por los agentes erosivos, como las corrientes de agua y del viento. Cuando la energía de estos agentes no es suficiente para transportar las partículas, se produce una tercera fase: su deposición, por lo que a este proceso de tres fases (desprendimiento, transporte y depositación) se le puede llamar abreviadamente “Ciclo de la Erosión”.

#### **6.3.3.1. Fases de la erosión**

**Desprendimiento del suelo.-** La salpicadura de la lluvia es el agente más importante de desprendimiento del suelo (Morgan, 1997). El impacto de una gota de lluvia, ejerce influencia en la superficie del suelo de tres maneras: separa el suelo, su golpeo tiende a destrozar la granulación y su chapoteo, bajo ciertas condiciones, efectúan un apreciable transporte del suelo (Miguel, 1991).

La exposición continua a lluvias intensas, debilita considerablemente el suelo, tan grande es la fuerza ejercida por la lluvia caída que los gránulos de suelo no sólo se pierden y se separan sino que, además, se fragmentan en trozos (Miguel, 1991). El suelo también se disgrega por procesos de meteorización: mecánicamente (alternancia de humectación y disecación, entre otros) y bioquímicamente. Además el suelo se altera por el laboreo y el pisoteo de hombres y ganado. Las corrientes de agua y el viento son otros contribuyentes al desprendimiento de partículas de suelo. Todos estos procesos liberan partículas del suelo que luego son arrastradas por los agentes de transporte (Morgan, 1997).

**Transporte del suelo.**- En cualquier lugar en que la lluvia cae con mayor rapidez de la que puede absorber el suelo, se forma una lámina de agua en la superficie, que se desplaza hacia abajo siguiendo la pendiente del terreno (Kirkby & Morgan, 1984). Sobre un suelo sujeto a fácil erosión, una lluvia torrencial, muy copiosa, puede salpicar hasta 250 toneladas de suelo por hectárea, alcanzando algunas gotas la altura de 60 cm y recorriendo horizontalmente unos 120 a 150 cm, en dirección inclinada, o si el viento sopla, el chapoteo aumenta mucho, y ayuda al desagüe en los traslados del suelo (Miguel, 1991 tomado de Buckman & Brady, 1966).

Durante el transporte del suelo que puede realizarse en solución, se puede afectar la calidad del agua para diferentes usos, como acontece con los limos y elementos más finos de arcillas, tierras y arenas, hasta que la reducción de la velocidad del desagüe da lugar a su deposición. Los materiales mayores son transportados por el fondo de la corriente, pudiendo concurrir o alternar, para dimensiones crecientes, el salto, la rodadura y el arrastre (Miguel, 1991 tomado de Buckman & Brady, 1966).

**Deposición del suelo.**- Finalmente, la sedimentación o deposición es la fase que más visibles efectos tiene sobre los dispositivos de regulación artificial y de distribución de las aguas. La deposición de materiales transportados puede tener lugar en los cauces, riberas, meandros, aguas arriba de cadenas, diques, presas y otros obstáculos, pudiendo contribuir al desarrollo de mejanas o islas centrales (Hudson, 1997).

#### **6.3.4. Erosión hídrica**

La erosión de los suelos por acción del agua es más activa y severa en las zonas tropicales. La erosión hídrica también denominada erosión *Acuea*, causada por la lluvia. Es el resultado de la energía producida por el agua al precipitarse sobre la tierra y al fluir sobre la superficie de los terrenos (Morales, 1996). Las gotas de lluvia compactan la superficie del suelo y las salpicaduras y el flujo del agua desprenden partículas del suelo; estos procesos pueden sellar las superficies con lo que disminuye la tasa de infiltración del agua en el suelo. Si cae más lluvia de la que puede infiltrarse en el suelo, entonces se producen escorrentías, que viajan a una velocidad



relativamente rápida, y es capaz de arrancar materiales del suelo por medio de la fuerza hidráulica de su flujo (Kirkby & Morgan, 1984).

La erosión del suelo por el agua probablemente sea el proceso principal de desgaste y la disolución es ligera. Como el agua puede fluir en grandes cantidades sobre la superficie y ejercer fuerzas hidráulicas también grandes, se deduce que la erosión del suelo a menudo actúa catastróficamente, incluso con pendientes moderadas (Kirkby & Morgan, 1984).

El proyecto GLASOD-SOTER de la FAO (2002) indica, que de acuerdo con los agentes erosivos más importantes que actúan en la erosión acelerada, se conocen dos formas: a) Erosión eólica y b) Erosión hídrica. La erosión hídrica es el tipo más importante de degradación y ocupa aproximadamente 1,093 millones de hectáreas (56%) del área total afectada por degradación de suelo inducida por el hombre (ver cuadro 2). La erosión eólica cubre una superficie de 548 millones de hectáreas (28%) del área afectada. El deterioro químico cubre cerca de 239 millones de hectáreas (12%), mientras que el deterioro físico ocupa alrededor de 83 millones de hectáreas (4%).

Cuadro 2. Clasificación de la degradación de suelos causados por erosión hídrica (FAO, 1980).

Categoría	Pérdida de suelo	
	Ton/ha/año	mm/a
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

#### **6.3.4.1. Daños que causa la erosión hídrica**

De forma sintética, los daños que este tipo de erosión provoca son las siguientes:

- ⇒ Pérdida física de la calidad del recurso suelo por desmejoramiento de su calidad y capacidad productiva,
- ⇒ Disminución de la calidad de cuerpos de agua naturales o artificiales por asolvamiento o acumulación de sedimentos,
- ⇒ Destrucción de obras de infraestructura vial con todo y sus sub-estructuras,
- ⇒ Destrucción de obras de infraestructura agropecuaria, habitacional e industrial,
- ⇒ Pérdida directa de las cosechas y cultivos,
- ⇒ Cambio de los componentes del equilibrio hidrológico, entre otros.

#### **6.3.4.2. Factores de la erosión hídrica**

Existen ciertos factores responsables de una erosión acelerada y severa. La magnitud de este proceso guarda una gran dependencia del comportamiento de éstos. Estos factores se sintetizan a continuación (Kirkby & Morgan, 1984).

##### **Factores relacionados con la vegetación:**

- ⇒ Pendientes completamente cubiertas por vegetación,
- ⇒ Pendientes parcialmente cubiertas por vegetación,
- ⇒ Ausencia de vegetación.

##### **Factores relacionados con la precipitación pluvial:**

- ⇒ Cantidad de movimiento y energía cinética,
- ⇒ Desprendimiento y dispersión de las partículas de suelo,
- ⇒ Compactación superficial del suelo,
- ⇒ Infiltración por precipitación pluvial.

### **Factores relacionados con el suelo:**

- ⇒ Distribución del tamaño de las partículas,
- ⇒ Agregación del suelo,
- ⇒ Aspereza superficial,
- ⇒ Pedregosidad superficial,
- ⇒ El perfil del suelo,
- ⇒ Humedad inicial del suelo.

### **Factores relacionados con la pendiente:**

- ⇒ Ángulo de la pendiente,
- ⇒ Longitud de la pendiente.

### **6.3.4.3. Factores específicos que determinan la erosión hídrica**

Existen ciertos factores que contribuyen de manera más específica y directa a que se produzca la erosión hídrica, estos pueden ser:

***Erosividad de la lluvia.***- Las pérdidas de suelo están estrechamente relacionadas con la lluvia, en parte por el poder de desprendimiento del impacto de las gotas al golpear el suelo y, en parte, por la contribución de la lluvia a la escorrentía. La respuesta del suelo a la lluvia puede estar determinada, también, por las condiciones meteorológicas (Morgan, 1997).

***Índices de erosividad pluvial.***- La expresión más adecuada de erosividad pluvial es un índice basado en la energía cinética de la lluvia. Por lo tanto, la erosividad de una tormenta es función de su intensidad y duración, y de la masa, diámetro y velocidad de las gotas de lluvia. Diversos estudios han llevado a muchos investigadores a diseñar diferentes ecuaciones de índices de erosividad (Morgan, 1997). Según Wischmeier (1959) citado por Kirkby & Morgan define a la erosividad pluvial como el producto de dos características de la lluvia tempestuosa: la energía cinética y la intensidad máxima durante 30 minutos ( $EI_{30}$ ).

***Erodabilidad del suelo.***- La erodabilidad del suelo define la resistencia del mismo a los procesos de desprendimiento y transporte. Aunque la resistencia de un suelo a la erosión depende, en parte, de su posición topográfica, pendiente y grado de alteración. La erosionabilidad varía con la textura del suelo, la estabilidad de los agregados, la resistencia al esfuerzo cortante, la capacidad de infiltración y los contenidos minerales y orgánicos (Morgan, 1997).

***Índice de erodabilidad del suelo.***- Las estimaciones de este índice se pueden realizar si se conoce la granulometría, el contenido de materia orgánica, la estructura y permeabilidad del suelo; Wishmeier y Cross (1971) citados por Morgan (1997) diseñaron un Nomograma donde se reflejan las variables arriba descritas para la estimación de la erodabilidad del suelo.

***Susceptibilidad de la topografía a la erosión.***- Depende de la inclinación y de la longitud de la pendiente. Normalmente se podría esperar que aumente la erosión al aumentar la longitud de la pendiente, como resultado del incremento de la velocidad y volumen de la escorrentía superficial. La relación entre erosión y pendiente se puede expresar mediante la ecuación:  $E \propto \text{tg}^m \theta L^n$ ; donde E es la pérdida de suelo por unidad de superficie,  $\theta$  es el ángulo de la pendiente y L es la longitud de la pendiente (Morgan, 1997).

Zingg (1940) en Morgan (1997) comprobó que la relación tenía la forma de:  $E \propto \text{tg}^{1.4} \theta L^{0.6}$

***Uso del suelo.***- La vegetación actúa como una capa protectora o amortiguadora entre la atmósfera y el suelo. Los componentes aéreos, como las hojas y los tallos, absorben parte de la energía de las gotas de lluvia, del agua en movimiento y el viento. La eficacia de una cubierta vegetal para reducir la erosión por impacto de las gotas de lluvia depende, sobre todo, de la altura y continuidad de la vegetación, y de la densidad de la cobertura del suelo. Además disipa la energía del agua en movimiento al aportar rugosidad al flujo y, en consecuencia reducir su velocidad (Morgan, 1997).

#### 6.3.4.4. Tipos de erosión hídrica

Según la forma como el agua actúa en el suelo existen tres clases de erosión hídrica:

- a) Erosión pluvial
- b) Erosión por escurrimiento
- c) Remoción en masa

**Erosión pluvial.-** También se le denomina erosión por salpicamiento, consistente en la dispersión de los agregados del suelo como resultado del impacto directo de las gotas de lluvia sobre la superficie del terreno. La energía que confieren las gotas de lluvia al terreno, provocan deslizamientos de las partículas del suelo que alcanzan alturas hasta de 61 cm y distancias laterales de 152 cm en terrenos planos (Morales, 1996).

Las gotas de lluvia, al caer sobre un suelo sólido, forman cráteres minúsculos. Este fenómeno va acompañado de una saltación que lanza al aire el agua y tierra en círculos concéntricos. En los terrenos en declives, más de la mitad de la salpicadura desciende por las laderas (Kirkby & Morgan, 1984).

El efecto de las gotas de lluvia se puede observar en la salpicadura del follaje más bajo, y en la formación de costras cuando se seca el suelo.

**Erosión por escurrimiento.-** Cuando el agua de lluvia no alcanza a infiltrarse en el suelo (debido a que la intensidad del aguacero es mayor que la velocidad de infiltración o a que el suelo está saturado) fluye por la superficie de terrenos en pendientes (escorrentía) arrastrando el suelo desprendido.

Según sean la pendiente, la cantidad de agua y la clase de suelo, se presentan diferentes formas de esta clase de erosión:

**Esgurrimiento difuso.-** Es un tipo de erosión llamado "normal", consistente en desplazamientos cortos de pequeñas partículas, o en la formación de surquitos temporales. Ocurre aún en terrenos con buena cobertura vegetal.

**Erosión laminar.-** (escurrimiento difuso intenso) es el arrastre uniforme y casi imperceptible de delgadas capas de suelo por mantos de agua. A veces se forman redes de pequeños surquitos por las rugosidades de la superficie, que cambian su curso y su forma durante el aguacero. Es común aun en suelos resistentes a la erosión.

Cuando el agricultor advierte este tipo de erosión, solo queda una capa muy delgada de suelo, las raíces de las plantas están desnudas o se ha lavado completamente el suelo hasta aparecer el subsuelo o la roca. También se observan cambios de color en algunas partes del terreno.

**Erosión en surcos.-** También se le denomina erosión por canales o erosión de arroyada. Es causado por el escurrimiento concentrado del agua en surcos más o menos paralelos, independientes y durables. El cultivo en sentido de la pendiente facilita la concentración del agua de escurrimiento, formando los surcos. En pendientes menores al 20%, estos surcos pueden ser borrados con herramientas de labranza y evitar así que aumenten su tamaño hasta formar cárcavas. La formación de surcos es frecuente en suelos medianamente susceptibles a la erosión.

**Erosión en cárcavas.-** Cuando hay una mayor concentración en el escurrimiento, las irregularidades del terreno permiten la unión de varios surcos y se forman zanjas de gran tamaño conocidas como cárcavas, generalmente ramificadas y que no permiten el uso de maquinarias ni el cultivo. Esta forma de erosión es común en suelos susceptibles a la erosión. Entre los daños que causa este tipo de erosión están: arrastre del suelo fértil, disminución del área útil para cultivar, dificultad para utilizar maquinaria, aumento en los costos de operación, entre otros (Kirkby & Morgan, 1984).

**Erosión regresiva o remontante.-** Una vez formados los surcos, las cárcavas y derrumbes, la concentración del agua que escurre por ellos hace retroceder las entalladuras, aumentando su tamaño y longitud (hacia arriba) hasta llegar en ocasiones a la cima de las laderas.

**Remoción en masa.**- Este tipo de erosión ocurre cuando en un gran volumen de suelo se infiltra mucha agua y la retiene, volviéndose inestable. Luego de la alta infiltración de agua, por acción de la gravedad se produce el movimiento del suelo que puede ser por (Núñez, 1985):

- Deslizamientos: movimientos de tierra en forma rápida,
- Derrumbes: desmoronamientos progresivos de suelo que ocurren en zonas de pendiente, por gravedad,
- Solifluxión: movimiento lento y progresivo de suelos saturados de agua, que descansan sobre un subsuelo o sobre estratos de rocas poco permeables.

#### **6.3.5. Técnicas para la medición de la erosión**

A parte de los modelos de predicción de la erosión, también existen métodos y técnicas para medir la erosión. Estos van desde estimaciones hechas en laboratorio hasta mediciones hechas en el campo (Figuroa et al., 1985 citados por Rivera, 2002). Algunos métodos de evaluación de la erosión a diferentes escalas espaciales se muestran en el cuadro 3.

Cuadro 3. Técnicas para la medición de la erosión a diferentes escalas (modificado de Lal, 1994 y Figueroa et al., 1985)

Escala	Tamaño	Variable a medir	Técnica	Autores
Parcela pequeña de erosión	1-2 m <sup>2</sup>	Escorrentía, pérdida de suelo, infiltración	Simulador de lluvias	Meza, 1999
Microparcela de erosión	1-10 m <sup>2</sup>	Escorrentía, pérdida de suelo, infiltración, desgaste de la superficie, nutrientes	Parcela de escorrentía, estacas	Almendarez, 1999
Parcelas de campo	10-100 m <sup>2</sup>	Escorrentía, pérdida de suelo, infiltración, distancia de transporte de sedimentos, desgaste de la superficie, nutrientes	Parcela de escorrentía, estacas, tintes fluorescentes, sistema multidivisor	Hudson et al., 1983; Wounter, 1980; Thompson, 1992
Ladera	0.01-0.5 ha	Escorrentía, pérdida de suelo, infiltración, nutrientes	Minicuenca, medidor del nivel de agua, muestreadores de escorrentía	Thurow y Smith, 1998; Toness et al., 1998; Sierra, 1996
Camino	10-50 m	Escorrentía, pérdida de suelo, infiltración, distancia de transporte de sedimentos, desgaste de la superficie	Parcela de escorrentía, clavos enterrados, tintes fluorescentes, surquímetro	Damas, 1999; Meza, 1999
Microcuenca	0.5-5 ha	Caudal, sedimentos en suspensión, nutrientes	Vertedero, medidor del nivel de agua, muestreadores de escorrentía	Guillén y Rivera, 2000; Salinas, 1994
Cuenca Hidrográfica	> 100 ha	Caudal, sedimentos en suspensión, nutrientes	Vertedero, medidor del nivel de agua, muestreadores de escorrentía, sensores remotos	Wounter, 1980



### 6.3.6. Tolerancia de pérdidas de suelo

La evaluación de tolerancia de pérdidas de suelo en un terreno, factor básico para la utilización del modelo en la ordenación agrohidrológica, depende de diversos factores tales como la profundidad del suelo, sus propiedades físicas, desarrollo de los sistemas radicales de la vegetación, reducción de la materia orgánica, pérdida de nutrientes y sementeras.

Según Wischmeier, pérdidas de 12.5 TM/ha/año son admisibles como máximo en un suelo profundo, de textura media, permeabilidad moderada y con un subsuelo favorable a la vida de las plantas (López Cadenas de Llano, 1998).

Según Hudson, para suelos arenosos profundos son admisibles pérdidas de 4-6 Tm/ha/año y en los francos profundos y fértiles de 13-15 Tm/ha/año.

Para suelos agrícolas se dan valores de 4-6 Tm/ha/año en suelos arenosos poco profundos, de 6-8 Tm/ha/año en suelos entre arenosos y arcillosos, y de 12.5 Tm/ha/año y mayores para suelos arcillosos, profundos y fértiles.

A falta de experiencias concretas y datos propios, pueden utilizarse los valores de pérdidas de suelos tolerables según la profundidad de los sistemas radicales y el tipo de suelo del Cuadro 4 (López Cadenas de Llano, 1998).

Cuadro 4. Guía para valores de tolerancia de pérdidas de suelo para distintas profundidades de raíces.

Profundidad de raíces (cm)	Valores de tolerancia de pérdidas de suelo (Tm/ha/año)	
	a	B
0 – 25	2.2	2.2
25 – 50	4.5	2.2
50 – 100	6.7	4.5
100 – 150	9.0	6.7
> 150	11.2	11.2

a = suelos con substrato favorable que pueden ser renovados por labores, fertilizantes, adición de materia orgánica y otras prácticas de cultivo.

b = suelos con un substrato desfavorable como es el caso de las rocas descompuestas en la que no resulta económica su renovación artificial.

### **6.3.7. Sistemas de Información Geográfica (SIG)**

La función de un sistema de información es la de mejorar nuestra capacidad para tomar decisiones. Un sistema de información es la cadena de operaciones que nos lleva desde la planificación de la observación y recolección de los datos hasta su almacenamiento y análisis, y luego a la utilización de la información obtenido en algún proceso de toma de decisiones. Un mapa es una colección de datos almacenados y analizados y la información derivada de este proceso se utiliza en la toma de decisiones (Griggs et. al., 2000).

El SIG es un sistema de información diseñado para trabajar con datos referenciados con coordenadas espaciales o geográficas. En otros términos, un SIG es tanto un sistema de base de datos con capacidades específicas para datos especialmente referidos, como una serie de operaciones para trabajar con los datos. En general, el SIG puede ser definido como una herramienta para recolectar, exhibir, manejar, analizar y producir datos especialmente referenciados. (Berry, 1987 citado por Griggs et al., 2000).

Hay cinco elementos esenciales que debe contener un SIG (Knapp, 1978 citado por Griggs et al., 2000): adquisición de datos, pre procesamiento, manejo, manipulación y análisis, y generación de productos.

### **6.3.7.1. Aplicación de los Sistemas de Información Geográfica (SIG) con los Modelos de Predicción de la Erosión del Suelo**

Ya se ha dicho que la erosión causada por el agua es más significativa que aquella causada por el viento. Y que los procesos responsables de la erosión hídrica son: desprendimiento, transporte y deposición de las partículas del suelo. Por lo que es necesario comprender estos procesos para reducir o eliminar eficientemente la erosión. Se han desarrollado y utilizado modelos físicos que permiten visualizar los factores que tienen influencia en el comportamiento de un sistema. Además, en el pasado y actualmente, las estimaciones de la erosión del suelo se predicen utilizando ecuaciones obtenidas empíricamente, como la Ecuación Universal de Pérdidas de Suelo (EUPS) [Griggs et al., 2000].

Los modelos desarrollados hasta la fecha han proporcionado una percepción significativa de los procesos de la erosión del suelo; sin embargo, tienen una serie de limitaciones que restringen su utilización.

Los factores que han limitado la adopción de modelos de simulación como herramientas de manejo son los siguientes: necesidad de ingresar una gran cantidad de datos, parámetros que son difíciles de medir o estimar, e imprecisión en el ingreso de datos. Otro factor que limita la utilización de los modelos de simulación es la falta de ayuda proporcionada por los modelos para analizar los resultados simulados. Los programas complejos que se usan para estudiar la predicción de la erosión pueden proporcionar una cantidad abrumadora de datos para ser analizados aún en una microcuenca (Griggs et al., 2000).

Las herramientas mejoradas permiten a los ingenieros, administradores y planificadores evaluar el uso y manejo de la tierra, analizar los escenarios de la erosión y desarrollar planes de conservación de acuerdo con las necesidades. Los Sistemas de Información Geográfica (SIG) y los modelos detallados de predicción de erosión y de movimiento químico basados en procesos, constituyen herramientas que pueden ayudar en los procesos de toma de decisiones en el campo de la planificación ambiental y de los recursos naturales (Griggs et al., 2000).

### **6.3.8. El Modelo SWAT (Herramienta de Evaluación de Suelos y Agua)**

Este modelo permite predecir el impacto del manejo del suelo en la generación de sedimentos y caudales de una cuenca hidrográfica, calcula la pérdida de nutrientes a través del agua; este programa trabaja en interfaz con ArcView en versiones de MS-DOS y Windows, diseñado por el Departamento de Agricultura de los Estados Unidos y la Universidad de Texas.

El programa utiliza las bases teóricas del balance hídrico para determinar entradas, almacenamiento y salidas del agua de la cuenca (gráfico 1). Para calcular con mayor precisión los caudales y sedimentos, SWAT divide la cuenca en Unidades de Respuestas Hidrológicas (HRU) las que resultan de las combinaciones de tipo de suelo con la cobertura del mismo. La información adicional para correr el programa incluye: un Modelo de Elevación Digital (MED) [ver anexos 8 y 9], variables climáticas (temperatura, velocidad del viento, humedad relativa, radiación solar, precipitación), agua subterránea y caudales diarios para la calibración del modelo. La producción de sedimentos se define como la suma de todos los movimientos de suelo ocurridos dentro del área de evaluación, permitiendo por lo tanto conocer la cantidad total que se pierde producto de la escorrentía superficial. Tanto la escorrentía como los sedimentos, son medidos en puntos bajos de las cuencas o microcuencas (ver anexos 10 y 11) [Torres, 2000].

En el balance hídrico el modelo toma en cuenta los siguientes parámetros (ver gráfico 1):

- ⇒ Escorrentía superficial,
- ⇒ Infiltración (flujo lateral, percolación, flujo de retorno o flujo base),
- ⇒ Evapotranspiración (el modelo usa tres métodos: Penman-Monteith, Hargreaves y Sammani y Prestley y Taylor).

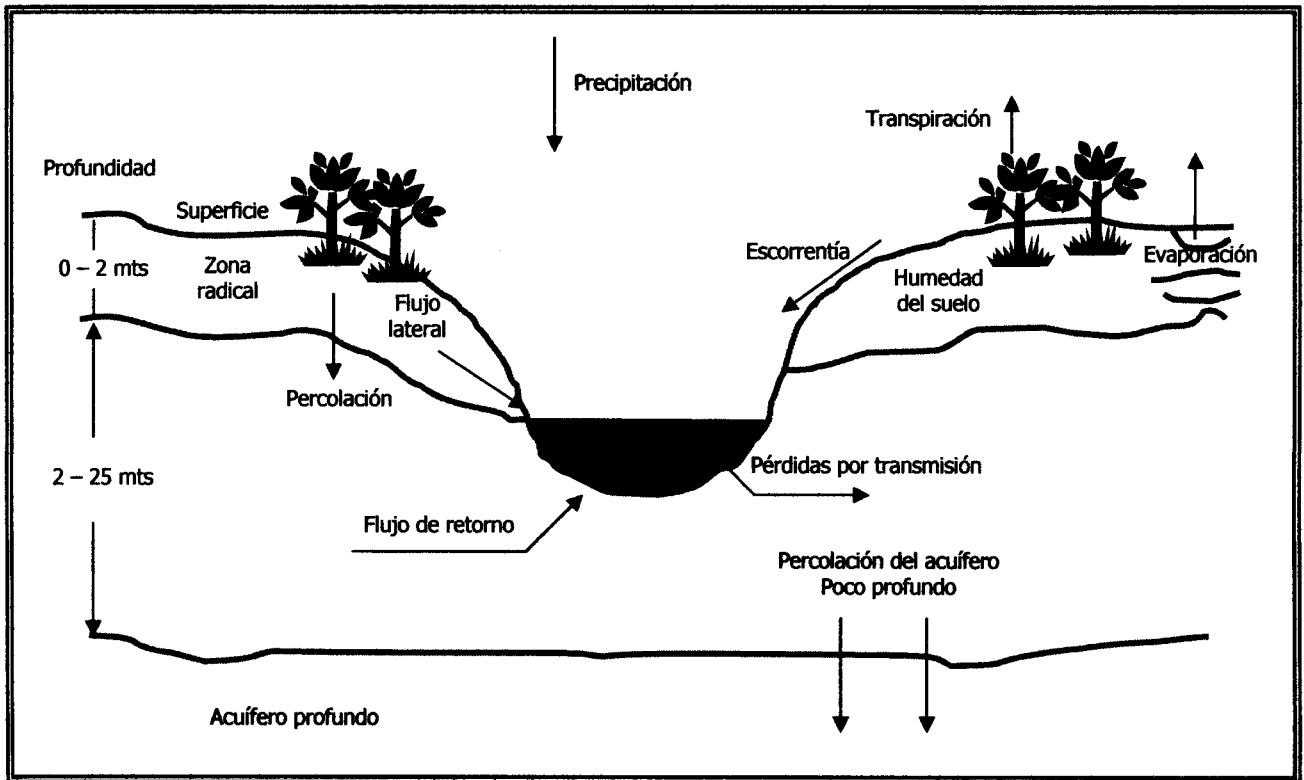


Gráfico 1. Representación gráfica del balance hídrico.

El movimiento del agua se ilustra en el gráfico 2; en ella se ve como el agua entra en la cuenca como precipitación, la cual al llegar al suelo forma los flujos de infiltración y escorrentía. La escorrentía es el agua que fluye más rápido hasta los drenajes de la cuenca, mientras que la infiltración es la vía por la cual se recargan los acuíferos, aunque también existen flujos subterráneos que son más lentos y descargan en los canales de drenaje (Torres, 2000).

El modelo utiliza las siguientes categorías para ser ejecutado: tipo de suelo (características físicas), uso y cobertura del suelo, precipitación y clima (temperatura del aire, radiación solar, velocidad del viento y humedad relativa) entre otros. Si la precipitación y la temperatura diaria son disponibles, pueden entonces ser ingresadas directamente al modelo; si no, el generador de variables climáticas puede simular la temperatura y la precipitación diaria. Un juego de variables climáticas puede ser simulado para la cuenca entera o cada una de las subcuencas y/o unidades de respuesta hidrológica. Pero sólo se recomienda utilizar las simulaciones que realiza el

programa como última opción, puesto que estas se realizan para las condiciones climáticas de Estados Unidos, las cuales son muy diferentes a nuestro estudio [Torres, 2000].

Finalmente SWAT calcula los sólidos o sedimentos perdidos por acción de la erosión hídrica usando la Ecuación Universal Modificada de Pérdidas de Suelo (MUSLE) [Torres, 2000].

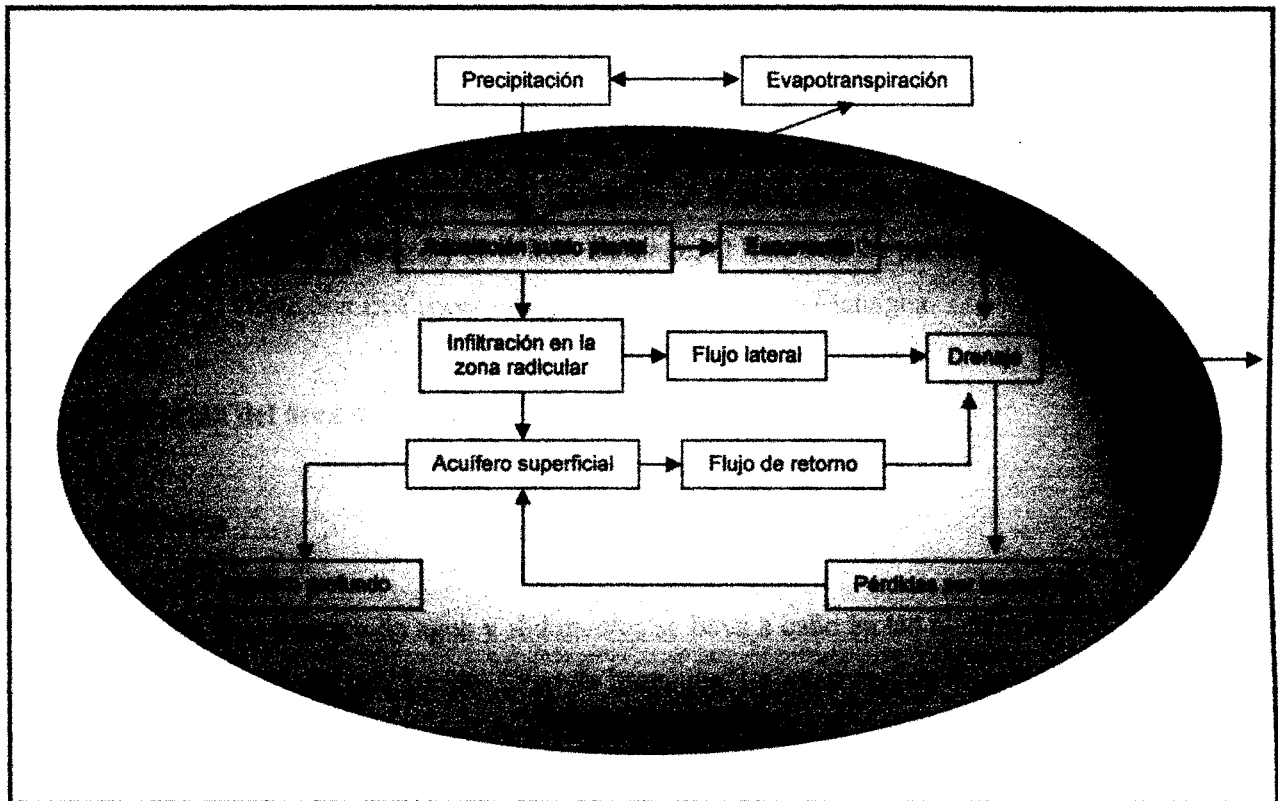


Gráfico 2. Diagrama del ciclo hidrológico en una cuenca hidrográfica.

## **VII. Materiales y métodos**

Según el IRENA (1983) citado por Catín (1997) la cuenca del Lago de Managua ha sido dividida en dos sectores. Cuenca Sur y Cuenca Norte, las cuales están separadas por los espejos de agua. La Cuenca Sur ha sido estructurada en cuatro subcuencas, en las cuales se encuentra la subcuenca III donde se ubican las microcuencas 7 y 13 (lugar del estudio). Esta subcuenca es la de menor tamaño, se divide en 16 microcuencas (ver anexo 1). Se encuentra localizada en la región Central del Pacífico de Nicaragua, limitando al Norte con parte del Lago de Managua, al Sur con el poblado de El Crucero y el volcán Santiago, al Este con las partes aguas de las Sierras de Managua y al Oeste con El Crucero y parte del municipio de Managua.

### **7.1. Descripción del área de estudio**

#### **7.1.1. Ubicación**

La modelación del volumen de agua y sedimentos se lleva a cabo en las microcuencas 7 y 13 de la subcuenca III de la Cuenca Sur del Lago de Managua. La microcuenca 7 cubre una superficie de 449 hectáreas, que para efectos de un mayor alcance en el estudio se ha dividido en un subsistema de drenaje, quedando con un área de 266.81 hectáreas. Se localiza en el Sureste de la subcuenca III dentro del municipio de Ticuantepe, limitando con las siguientes microcuencas: al Norte con la 9 y 10, al Sur y Oeste con la 12 y al Este con el volcán Santiago. La microcuenca 13 ocupa una superficie de 909 hectáreas, la cual también ha sido dividida, delimitada en un área de 143.62 hectáreas; se localiza al Suroeste de la subcuenca III, entre el municipio de Ticuantepe y El Crucero; limita al Norte con El Crucero, al Sur y Oeste con la microcuenca 14 y al Este con la microcuenca 11 en Ticuantepe (ver gráfico 3). Ambas microcuencas se encuentran geográficamente ubicadas entre las coordenadas UTM indicadas en el Cuadro 5.

Cuadro 5. Coordenadas en UTM de las microcuencas 7 y 13

<b>Microcuenca siete</b>		
	<b>X</b>	<b>Y</b>
<b>Mínimo</b>	587,453.71	1,324,755.19
<b>Máximo</b>	585,528.23	1,328,404.75
<b>Microcuenca trece</b>		
	<b>X</b>	<b>Y</b>
<b>Mínimo</b>	578,650.40	1,326,250.35
<b>Máximo</b>	578,737.20	1,327,794.34

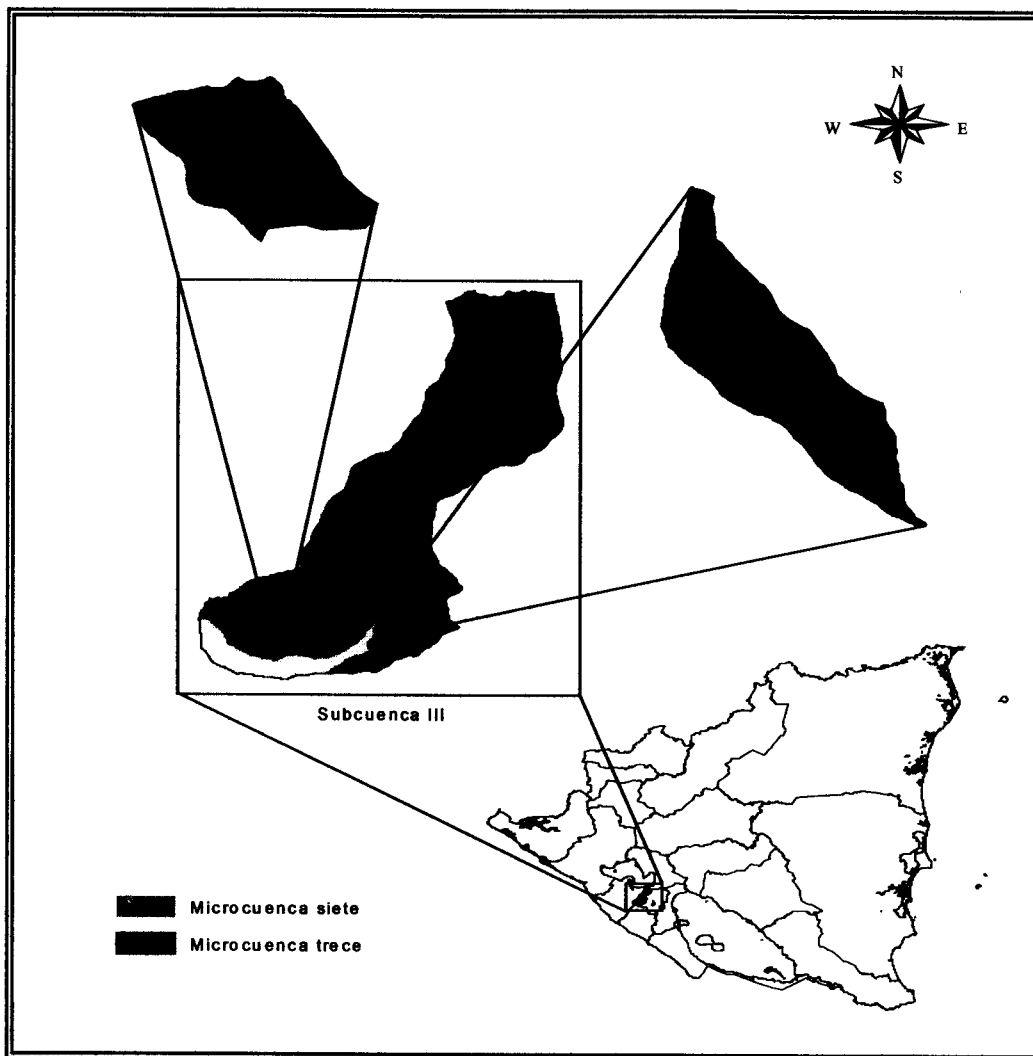


Gráfico 3. Ubicación del área de estudio



## **7.1.2. Caracterización del medio físico natural**

### **7.1.2.1. Fisiografía**

De acuerdo al mapa de Catastro y Recursos Naturales (1972) las microcuencas 7 y 13 forman parte de la provincia volcánica del pacífico, comprendidas dentro de la subprovincia de las Sierras de Managua, que se distribuye en la parte media y alta de la subcuenca III. Esta provincia supera alturas mayores a los 250 msnm, presentando una topografía que varía de fuertemente ondulada a precipicio (de 15 a más de 75%) [INTERCONSULT, 2002].

### **7.1.2.2. Geomorfología**

Del estudio efectuado mediante la interpretación de fotografías aéreas de 1996 a escala 1:40,000, se logró identificar cinco unidades geomorfológicas, de las cuales tres de ellas cubren a las microcuencas en estudio, éstas son (INTERCONSULT, 2002):

***Planicie volcánica.***- Comprende gran parte de la microcuenca 7 (ver mapa 1). Se distribuye entre la planicie lacustre y los pié de monte de la Sierra de Managua, con una topografía que varía de plana a moderadamente ondulada con pendientes de 2 a 15%, constituidas por material piroclástico y vidrio volcánico del Cuaternario reciente.

***Pié de monte volcánico.***- Cubre parte de la microcuenca 7. Comprende lomeríos de baja a mediana altura que se distribuyen entre las planicies volcánicas y el sistema montañoso de las Sierras de Managua, presentan una topografía que varía de ondulada a escarpada, con pendientes de 15 a 50%, y su basamento lo constituyen materiales piroclásticos del grupo geológico de las Sierras de Managua correspondiente al período Plio-Pleistocénico. Ver mapa 1.



Mapa 1. Geomorfología de la microcuenca siete

***Sistema montañoso volcánico.***- Según el mapa geomorfológico, la microcuenca 13 corresponde a esta unidad (ver mapa 2). Comprende el accidente geográfico conocido como las Sierras de Managua, que se distribuye por encima de los 400 msnm, y que presenta una topografía que varía de fuertemente ondulada a quebrada con pendientes de 30 a 75% y más, su basamento geológico lo constituyen una variedad de materiales piroclásticos del grupo geológico de las Sierras del período Plio-Pleistocénico.



Mapa 2. Geomorfología de la microcuenca trece.

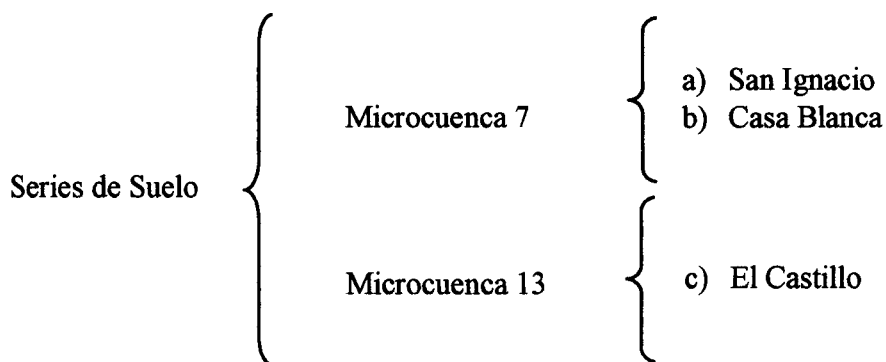
### 7.1.2.3. Tipo de suelo

Las microcuencas en estudio comprenden las siguientes series de suelo: series San Ignacio y Casa Blanca localizadas en la microcuenca 7 y la serie El Castillo en la microcuenca 13 (ver anexos 2 y 3 respectivamente); tales suelos se encuentran ocupados por cultivos anuales y semi perennes (microcuenca 7) y por un sistema agroforestal constituido por café bajo sombra (microcuenca 13).

Existe una estrecha relación entre la naturaleza de los materiales iniciales y los suelos formados en la zona; esta relación es tal, que aproximadamente el 99.3% de los suelos de la zona evidencian su formación a partir de materiales volcánicos, éstos suelos fueron clasificados en el orden de Andisoles, que son suelos que se forman en las primeras etapas de desarrollo por la

descomposición de materiales volcánicos. 0.72 km<sup>2</sup> de los suelos de la subcuenca III son del orden Molisol en la parte baja (Velásquez, 1998). En los sitios de estudio se encontraron tres series de suelo que están dentro del orden Andisol: San Ignacio y Casa Blanca en la microcuenca siete, y El Castillo en la microcuenca trece.

***Descripción de las series de suelo***



a) Serie San Ignacio.- Estos suelos se desarrollaron a partir de cenizas volcánicas recientes, presentando una secuencia de horizontes A-B-C y se encuentran en una etapa reciente de desarrollo, con un epipedón ócrico que descansa sobre un horizonte cámbico; pertenece al subgrupo Mollic Ustivitrands. En el cuadro 6 se presentan las características de este tipo de suelo utilizadas en la modelación (INTERCONSULT, 2002).

b) Serie Casa Blanca.- Estos suelos son desarrollados a partir de cenizas volcánicas recientes, presentando una secuencia de horizontes A-B-C y se encuentran en una etapa reciente de desarrollo, con un epipedón mólicio que descansa sobre un horizonte cámbico; pertenece al subgrupo Mollic Haplustands. En el cuadro 7 se presentan sus características físicas (INTERCONSULT, 2002).

**Cuadro 6. Características de la serie San Ignacio**

<b>Especificaciones</b>		<b>Descripción</b>		
<b>Horizontes</b>		<b>A</b>	<b>B</b>	<b>C</b>
<b>Profundidad (cm)</b>		17	48	51
<b>Granulometría (%)</b>	<b>Arena</b>	72.5	72.5	72.5
	<b>Limo</b>	22.5	22.5	22.5
	<b>Arcilla</b>	5	5	5
	<b>Textura</b>	Fa	Fa	Fa
<b>Estructura</b>		<b>Granular</b>	<b>Bloques sub-angulares medios y finos</b>	<b>No tiene</b>
<b>Densidad aparente Gramos/cc</b>		1.18	1.16	1.37
<b>Materia Orgánica (%)</b>		0.89	1.32	1.44

Cuadro 7. Características de la serie Casa Blanca.

Especificaciones		Descripción		
Horizontes		A	B	C
Profundidad (cm)		42	50	Este horizonte está formado por una capa de talpetate fracturado
Granulometría (%)	Arena	60	65	
	Limo	27.5	22.5	
	Arcilla	12.5	12.5	
	Textura	Fa	Fa	
Estructura		Granular y de bloques subangulares	Bloques subangulares medios y finos	
Densidad aparente Gramos/cc		0.94	0.88	
Materia Orgánica (%)		6.53	1.06	

c) Serie El Castillo.- Son desarrollados a partir de cenizas volcánicas recientes, presentando una secuencia de horizontes A-B-C y se encuentran en una etapa reciente de desarrollo, con un epipedón mólico que descansa sobre un horizonte cámbico; pertenece al subgrupo Mollic Haplustands. En el cuadro 8 se presentan sus características físicas (INTERCONSULT, 2002).

**Cuadro 8. Características de la serie de suelos El Castillo.**

<b>Especificaciones</b>		<b>Descripción</b>		
<b>Horizontes</b>		<b>A</b>	<b>B</b>	<b>C</b>
<b>Profundidad (cm)</b>		43	28	69
<b>Granulometría (%)</b>	<b>Arena</b>	72.5	87.5	82.5
	<b>Limo</b>	22.5	10	15
	<b>Arcilla</b>	5	2.5	2.5
	<b>Textura</b>	FA	FA	FA
<b>Estructura</b>		Granular y bloques subangulares	Bloques subangulares medios y finos	No tiene
<b>Densidad aparente Gramos/cc</b>		0.95	1.05	1.05
<b>Materia Orgánica (%)</b>		4.7	1.42	0.32

#### **7.1.2.4. Uso de la tierra**

##### ***Uso de la tierra en la microcuenca siete***

Esta microcuenca abarca un área de 266.81 hectáreas, ocupada mayoritariamente por cultivos anuales y semiperennes. Como cultivos anuales tenemos: fríjol y maíz, a veces se encuentran asociados. Como cultivos semiperennes sobresale la piña, ocupando la mayor superficie (ver anexo 4). En el cuadro 9 se detalla el uso del suelo a continuación:

**Cuadro 9. Uso actual del suelo en la microcuenca siete**

<b>Uso actual</b>	<b>Area (Ha)</b>	<b>%</b>
Tacotal	2.52	0.94
Frijol	18.68	7.00
Piña	61.04	22.88
Frijol + maíz asociado	12.23	4.58
Bosque de galería	24.68	9.25
Piña + maíz	8.85	3.32
Frijol + piña + maíz	4.56	1.71
Musácea	5.23	1.96
Huerto familiar	84.07	31.51
Frijol + piña	44.95	16.85
<b>Total</b>	<b>266.81</b>	<b>100.00</b>

***Uso de la tierra en la microcuenca 13***

Esta microcuenca cubre una superficie de 143.62 hectáreas, ocupando la mayor área un bosque alto cerrado más café bajo sombra, seguido por un bosque bajo abierto más café bajo sombra y por último se tiene un bosque alto abierto más café bajo sombra (ver anexo 5), tal como se presenta en el cuadro 10.

**Cuadro 10. Uso actual del suelo en la microcuenca 13**

<b>Uso actual</b>	<b>Area (Ha)</b>	<b>%</b>
Bosque alto cerrado más café bajo sombra	124.84	86.92
Bosque bajo abierto más café bajo sombra	10.32	7.19
Bosque alto abierto más café bajo sombra	8.46	5.89
<b>Total</b>	<b>143.62</b>	<b>100.00</b>

***Erosión en los suelos de las microcuencas***

En la microcuenca siete prevalecen cuatro tipos de erosión: leve, moderada, fuerte y severa; se distribuyen de la siguiente manera: en la parte alta la erosión fluctúa de fuerte a moderada, en la parte media la erosión es leve y en la parte baja es severa formando cauces-caminos (INTERCONSULT, 2002).



Los tipos de erosión existentes en la microcuenca trece son: fuerte y moderada. La erosión fuerte se localiza en las partes bajas y la erosión moderada en la parte alta (INTERCONSULT, 2002).

#### **7.1.2.5. Zonas de vida del área de estudio**

De acuerdo a la clasificación bioclimática, Holdrige define las zonas de vida de la microcuenca siete en dos tipos: bosque húmedo premontano tropical en la parte alta y bosque seco subtropical, transición a húmedo en la parte baja. El clima de la microcuenca trece corresponde a bosque húmedo premontano tropical (INTERCONSULT, 2002).

#### ***Microcuenca 7***

***Bosque húmedo premontano tropical.-*** Los rangos de precipitación oscilan entre los 1,200 a 1,600 mm/anuales, y la precipitación es de tipo normal uniforme, iniciándose en el mes de mayo y concluyendo a mediados de noviembre; el rango de altitud varía de 400 a 600 msnm; el rango de temperatura media anual es de 24.5 a 25.5 °C. El período canicular es definido (15 a 25 días secos) [INTERCONSULT, 2002].

***Bosque seco subtropical, transición a húmedo.-*** Es similar al anterior en cuanto a rangos de precipitación, pero difieren en temperatura por ser más caliente 25.5 – 26.5 °C, y en período canicular que es acentuado (25 a 40 días secos) [INTERCONSULT, 2002].

#### ***Microcuenca 13***

***Bosque húmedo premontano tropical.-*** Se localiza en las partes más altas de la microcuenca en altitudes de 800 a 900 m.s.n.m. presenta un régimen de temperatura templado (22.5 a 24.5 °C), los rangos de precipitación oscilan entre los 1,600 a 1,800 mm/anuales, y transcurso de la precipitación es de tipo normal uniforme, iniciándose en el mes de mayo y concluyendo a mediados de noviembre, presenta un período canicular benigno (menos de 10 días secos), esta zona es la que presenta la mejor aptitud para el cultivo del café.

***Bosque húmedo premontano tropical.***- Se localiza en altitudes de 600 a 800 m.s.n.m. presenta un régimen de temperatura templado (22.5 a 24.5 °C), los rangos de precipitación oscilan entre los 1,200 a 1,600 mm/anuales, y transcurso de la precipitación es de tipo normal uniforme, iniciándose en el mes de mayo y concluyendo a mediados de noviembre, presenta un período canicular benigno (menos de 10 días secos), esta zona presenta mejor aptitud para el cultivo del cafeto (INTERCONSULT, 2002).

## **7.2. Materiales utilizados**

- GPS (Sistema de Posicionamiento Global, modelo Garmin),
- Computadora con el programa ArcView provista de las siguientes extensiones: Spatial Analyst, 3D Analyst, X Tool, Hydrologic modeling, y SWAT,
- Discos compactos y disquetes,
- Mapa hidrogeológico de 1994 del Instituto Nicaragüense de Acueductos y Alcantarillados (INAA),
- Manual de SWAT (Herramienta de Evaluación de Suelos y Agua).

Además se tomaron como base para el presente estudio los siguientes mapas elaborados por INTERCONSULT de un estudio Agroecológico y de Drenajes Pluviales realizado en el 2002 en la subcuenca III, a partir de los cuales se delimitaron para nuestras zonas de estudio:

- Mapa de geo referenciación de las microcuencas,
- Mapa de la red vial,
- Mapa de los municipios y comunidades (ver anexo 1),
- Mapa del tipo de suelo (ver anexos 2 y 3),
- Mapa del uso actual del suelo,
- Mapa del uso potencial del suelo (ver anexos 6 y 7),
- Mapa geomorfológico (ver mapas 1 y 2),
- Mapa agroecológico,
- Mapa fisiográfico,
- Mapa de erosión,
- Mapa de zonas climáticas,
- Mapa de pendientes,
- Mapa de elevación digital (DEM),
- Mapa de drenajes.

### **7.3. Metodología aplicada**

#### **7.3.1. Etapa de precampo**

- Capacitación en el Zamorano, Honduras del modelo empleado en el presente estudio,
- Elaboración del protocolo utilizando como fuentes las siguientes instituciones: Centro de Información y Documentación Agropecuaria (CENIDA) y biblioteca de FARENA [en la UNA], Ministerio del Ambiente y de los Recursos Naturales (MARENA), Instituto de Estudios Territoriales (INETER), INTERCONSULT, CENADE,
- Recopilación y análisis de información meteorológica en INETER sobre base de datos específicas aplicables a las microcuencas,
- Delimitación de las microcuencas a evaluar a partir de los mapas generados por INTERCONSULT,
- A partir de los mapas generados por INTERCONSULT, se delimitaron los siguientes mapas para las microcuencas: mapa geomorfológico, de zonas climáticas, de erosión, de drenaje, fisiográfico, de tipo de suelo, de pendientes, agroecológico, y de elevación digital,
- También se delimitó un mapa de uso potencial por cada microcuenca a partir de la información de INTERCONSULT para ser utilizado en el modelamiento.

#### **7.3.2. Etapa de campo**

- Reconocimiento del área de estudio,
- Levantamiento del uso actual en las microcuencas siete y trece de la subcuenca III,
- Procesamiento de la información recopilada en el campo,
- Elaboración de mapas de uso actual de las microcuencas,

### 7.3.2.1. Flujograma de la metodología del modelo.

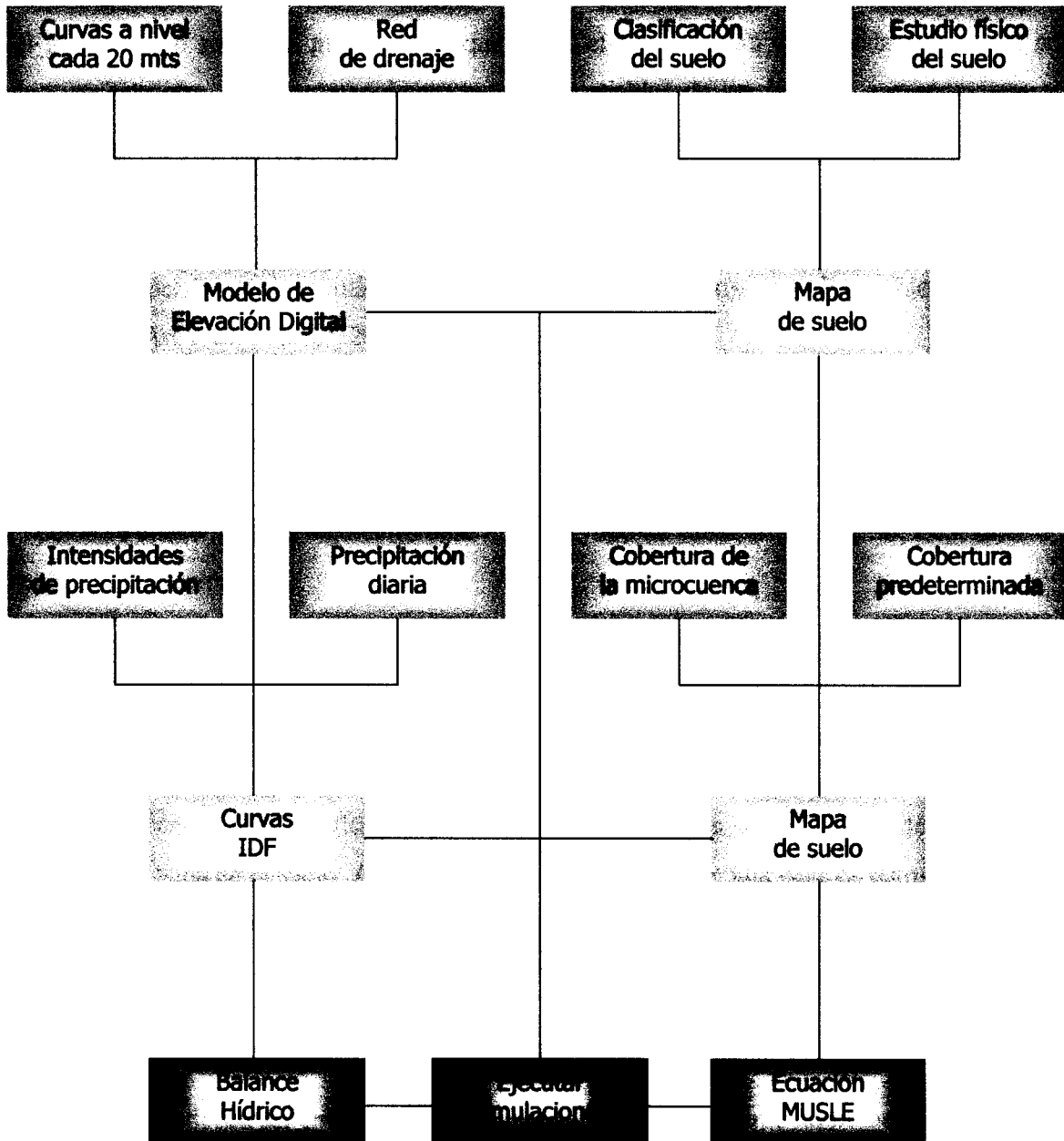


Gráfico 4. Flujograma del modelo SWAT.

### **7.3.2.2. Descripción de los factores necesarios para el modelamiento: suelo, cobertura del suelo, clima y precipitación.**

En el gráfico 4 se señala la metodología que sigue el modelo para que pueda ejecutarse, en cambio, en este otro punto se mencionan todas las variables de los factores que componen al modelo (principalmente los factores: tipo de suelo, uso del suelo, clima y precipitación).

La interfase SWAT fue creada como una extensión más de ArcView, esto quiere decir que es un programa independiente, permitiendo aprovechar las características disponibles en otras extensiones de ArcView (Torres, 2000).

En la pantalla principal de SWAT existe una opción con el nombre de Editor de Base de Datos (Edit SWAT Databases), donde se ingresa la información que alimentará al programa. Dentro de esta opción se encuentran las siguientes base de datos: tipo de suelo, uso del suelo, estaciones de clima, pesticidas, entre otros.

#### ***Base de datos de suelo***

Esta base de datos tiene que estar ligada con el mapa de suelos. Aquí es donde se tienen que especificar las características físicas de los suelos, las cuales son las que determinan el movimiento del agua en el suelo. A pesar de que el programa tiene una base de datos de suelo de Estados Unidos, se puede crear una nueva base de datos que sea similar, haciéndole los cambios necesarios o agregar una nueva introduciendo todos los datos que el programa requiere (Torres, 2000).

Los datos de suelo deben ser entrados por capas, requiriendo la siguiente información:

- Nombre del suelo (máximo 16 caracteres),
- Número de capas que tiene el suelo (máximo 7),
- Grupo hidrológico del suelo (A, B, C, D),
- Albedo del suelo o porcentaje de radiación solar reflejada por el suelo,

- Erodabilidad del suelo (factor K según la EUPS),
- Potencial de grietas (opcional),
- Profundidad de la capa de suelo (máximo 2000 mm),
- Densidad aparente,
- Agua aprovechable en el suelo,
- Conductividad hidráulica saturada,
- Porcentaje de carbón orgánico en el suelo,
- Porcentaje de arcillas,
- Porcentaje de limos,
- Porcentaje de arenas,
- Porcentaje de rocas,

### ***Base de datos de uso del suelo***

El uso del suelo influye fuertemente en la producción de escorrentía y suelo perdido. SWAT para tomar en cuenta el uso del suelo necesita el ingreso de los datos de la cobertura establecida, la cual debe estar definida en el mapa de uso del suelo. SWAT presenta una lista de 100 tipos de cultivos más comunes, en los cuales se puede seleccionar el tipo de cultivo que se requiere. En el caso de que el cultivo no se encuentre entre la base de datos se recomienda utilizar uno similar y modificarlo con la información que se tenga. De esta forma se ampliará la base de datos de coberturas y se podrá utilizar en futuras ocasiones (Torres, 2000).

Las variables utilizadas en esta base de datos son:

- Tasa de descenso en la eficiencia de uso de la radiación por unidad de incremento en el déficit de presión de vapor,
- Umbral del déficit de presión de vapor,
- Temperatura óptima para el crecimiento de las plantas,
- Temperatura mínima para el crecimiento de las plantas,
- Máximo potencial del índice del área foliar,

- Clasificación de las plantas que dan cobertura al suelo (1. leguminosa de estación cálida, 2. leguminosa de estación fría, 3. leguminosa perenne, 4. estación cálida, 5. estación fría, 6. perenne, 7. árboles),
- Primer punto de la curva de área foliar óptimo,
- Segundo punto óptimo de la curva de índice de área foliar,
- Factor manejo de cobertura (factor C según la EUPS),
- Máxima altura del dosel,
- Máxima profundidad de las raíces,
- Fracción de crecimiento estacional cuando el área foliar desciende,
- Segundo punto en la curva de uso eficiente de la radiación,
- Fracción normal de nitrógeno en semillas (estimado en base al peso seco),
- Fracción normal de fósforo en semillas (estimado en base al peso seco),
- Límite bajo del índice de cosecha,
- Parámetro de extracción de nitrógeno en la emergencia (excluyendo semillas),
- Parámetro de extracción de nitrógeno en 0.5 de maduración (excluyendo semillas),
- Parámetro de extracción de nitrógeno en la madurez (excluyendo semillas),
- Parámetro de extracción de fósforo en la emergencia (excluyendo semillas),
- Parámetro de extracción de fósforo en 0.5 de maduración (excluyendo semillas),
- Parámetro de extracción de fósforo en la maduración (excluyendo semillas),
- Máxima conductancia de estomas a alta radiación y bajo déficit de presión de vapor,
- Coeficiente de Biomasa – Energía,
- Índice de cosecha.



### ***Base de datos de clima y precipitación***

El clima como es sabido, influye en el balance hídrico de una cuenca y por esto SWAT requiere de datos de clima para los cálculos, por esto es importante ingresar los datos que el programa necesita.

En esta sección se pueden seleccionar diferentes estaciones climáticas pertenecientes a Estados Unidos, los cuales no son extrapolables a nuestro medio, así que es necesario ingresar todos los datos requeridos, tales como (Torres, 2000):

- Lámina máxima para media hora de lluvia con frecuencia de 10 años,
- Lámina máxima para seis horas de lluvia con frecuencia de 10 años,
- Número de años de máxima lluvia mensual en media hora,
- Latitud de la subcuenca,
- Elevación de la subcuenca,
- Código de distribución de lluvias (0 distribución normal asimétrica y 1 distribución exponencial mixta),
- Valor de exponente para distribución de lluvia exponencial mixta,
- Promedio máximo de temperatura de aire mensual,
- Promedio mínimo de temperatura de aire mensual,
- Coeficiente de variación para el promedio de temperatura por mes,
- Promedio de radiación solar para el mes,
- Máxima media hora de lluvia para todo el período por mes,
- Probabilidad de un día seco después de un día húmedo,
- Probabilidad de un día húmedo después de un día húmedo,
- Promedio del número de días de precipitación en el mes,
- Promedio diario de precipitación en el mes,
- Desviación estándar para la precipitación diaria en el mes,
- Coeficiente sesgado para la precipitación diaria en el mes,

- Promedio de la temperatura de punto de rocío en el mes,
- Promedio de la velocidad del viento en el mes.

Para utilizar la interfase es necesario tener acceso a los temas de cada mapa en ArcView y los archivos de base de datos, los cuales proveen información de diferentes tipos dentro de la cuenca.

Anteriormente ya se hizo mención de la información requerida para modelar SWAT, pero es necesario señalar los temas y archivos con sus respectivas exigencias que el programa utiliza en interfase con ArcView. A continuación se hace mención de esto aspectos:

#### ***Temas de ArcView requeridos***

- Modelo de Elevación Digital (DEM) en formato ArcView Grid,
- Cobertura y uso de la tierra en formato ArcView Grid,
- Suelos en formato ArcView Grid,

#### ***Temas de ArcView opcionales***

- Máscara utilizada para delimitar el DEM en formato ArcView Grid,
- Red hídrica de la subcuenca en formato ArcView shape.

#### ***Archivos requeridos de texto y tablas en ArcView***

- Tabla de localización,
- Tabla y archivo de atributos de uso del suelo (en dbf y txt respectivamente),
- Tabla y archivo de atributos de suelos (en dbf y txt respectivamente),
- Tabla de datos de precipitación y temperatura (en dbf).

### 7.3.3. Etapa de postcampo

A continuación se presentan los resultados de las variables determinadas en cada uno de los factores del modelo.

#### Factor tipo de suelo

##### *Determinación del grupo hidrológico*

Para tal determinación se utilizó la Clasificación Hidrológica de la USDA, de los 4 grupos (ver anexo 12). Los resultados se muestran en el cuadro 11 a continuación.

Cuadro 11. Grupo hidrológico de las series de suelo de la microcuenca 7 y 13

Microcuencas	Series de suelo	Textura	Grupo hidrológico
Siete	San Ignacio	Franco arenosa	B
	Casa Blanca	Franco arenosa	B
Trece	El Castillo	Franco arcillosa	C

##### *Determinación de la conductividad hidráulica*

Se determina en base a la textura de cada suelo en estudio y al grupo hidrológico (cuadro 12). En el anexo 1 aparecen dos valores de conductividad hidráulica tanto para el grupo “B” como para el “C”, por lo que se determinó el promedio entre ambos valores obteniendo el resultado a ingresar en la base de datos.

Cuadro 12. Conductividad hidráulica de los suelos de la microcuenca 7 y 13

Microcuencas	Series de suelo	Grupo hidrológico	Conductividad hidráulica (mm/h)
Siete	San Ignacio	B	60.5
	Casa Blanca	B	60.5
Trece	El Castillo	C	6.05

***Determinación de la erodabilidad (factor K)***

En los anexos 13, 14 y 15 se presentan los porcentajes de arena, limo y arcilla y los valores para determinar el factor de erodabilidad del suelo en el primero, segundo y tercer horizonte del perfil de suelo de cada microcuenca, se presentan en los anexos 16, 17 y 18 respectivamente.

Según Wishmeier y Smith (1978) citado por Torres (2000) el índice de erodabilidad K en la EUPS, se puede obtener mediante la siguiente fórmula:

$$K = 100 M^{1-2a} (10)^{-0.0725(a-2)} (12-a) + 3.25 (b-2) + 2.14 (c-2)$$

Donde:

- K = Conductividad hidráulica (Unidades del Sistema Internacional)
- M = (% Limo + Arena muy fina) (100 - % Arcilla)
- a = % de Materia orgánica
- b = Clasificación de la estructura
- c = Clasificación de la permeabilidad

Para obtener el valor de “b”, se acuden a tres aspectos: grado de estructuración, forma y tamaño de la estructura, y de acuerdo a la información que se tenga de estos aspectos, se asigna un código utilizado en la determinación de la erodabilidad del suelo (ver anexo 19).

De acuerdo a la textura y a la clase de permeabilidad se determina el valor de “c”, conociendo estos parámetros se procede a ver cual código corresponde para luego ser utilizado en la determinación de la erodabilidad del suelo, (ver anexo 20).

En el cuadro 13 se muestran los valores de la erodabilidad de cada horizonte del suelo de las series encontradas en las microcuencas siete y trece, y en el anexo 21 se presenta el procedimiento para su obtención.

Cuadro 13. Valores de erodabilidad de cada horizonte del suelo

Microcuenca	Serie de suelos	Primer horizonte	Segundo horizonte	Tercer horizonte
7	San Ignacio	0.156	0.149	0.231
	Casa Blanca	0.074	0.137	0.245
13	El Castillo	0.156	0.106	-

### *Profundidad y densidad aparente de cada horizonte*

Todos los valores tanto de profundidad como de densidad aparente fueron tomados del trabajo realizado por INTERCONSULT (2002), descritos en los cuadros: 6, 7 y 8. En los cuadros 14, 15 y 16 se presentan las densidades y profundidades de los horizontes de cada serie de suelo.

⇒ Serie San Ignacio

Cuadro 14. Profundidad y densidad aparente de la serie San Ignacio

Horizontes	A	B	C
Profundidad (mm)	170	480	510
Densidad aparente gramos/cm <sup>3</sup>	1.18	1.16	1.37

⇒ Serie Casa Blanca

Cuadro 15. Profundidad y densidad aparente de la serie Casa Blanca

Horizontes	A	B	C
Profundidad (mm)	420	500	Capa de talpetate
Densidad aparente gramos/cm <sup>3</sup>	0.94	0.88	

⇒ Serie El Castillo

Cuadro 16. Profundidad y densidad aparente de la serie El Castillo

Horizontes	A	B	C
Profundidad (mm)	430	280	690
Densidad aparente gramos/cm <sup>3</sup>	0.95	1.05	1.05

***Determinación del agua aprovechable en el suelo y su porosidad total***

El agua aprovechable y la porosidad total del suelo se determinó partiendo de la textura que presentó cada serie de suelo, luego se procedió a extraer los valores correspondientes de una clasificación realizada por Grassi (1978). En el cuadro 17 se reflejan los valores de tales variables para cada serie de suelo listos para ser entrados en el modelo.

Cuadro 17. Humedad total utilizada y espacio poroso total de las series de suelos

Textura del suelo	Serie de suelos	Espacio poroso total %	Humedad total utilizada		
			Peso seco %	Volumen %	mm/mm
Franco arenoso	Sn Ignacio, Casa blanca	43	8	12	0.12
Franco arcilloso	El Castillo	49	14	19	0.19

## **Factor clima y precipitación**

### ***Determinación de la curva Intensidad Duración y Frecuencia (IDF)***

Los datos para este cálculo se tomaron de las estaciones pluviográficas de Masaya y Campos Azules (en Masatepe), con registros de 17 años. Para la microcuenca siete se tomaron los registros de la estación de Masaya a partir de 1986 al 2002, y para la microcuenca trece los registros de la estación de Campos Azules a partir de 1984 a 1987 y de 1989 al 2001.

Se extrajeron las intensidades de cada año con duraciones de media y seis horas, para luego elaborar las curvas IDF con un período de retorno de 10 años correspondiente a cada duración en las microcuencas evaluadas.

El procedimiento para la elaboración de las curvas IDF requeridas por SWAT se hizo siguiendo la metodología de la Distribución de Gumbel Tipo I. El procedimiento y los datos para la elaboración de estas curvas tanto para la microcuenca siete como en la trece, se muestran a partir del anexo 22 hasta el anexo 35. En los cuadros 18 y 19 se presentan los valores de precipitación (en milímetros) para la construcción de las Curvas IDF en cada microcuenca.

### ***Curvas de Intensidad Duración y Frecuencia para la microcuenca siete***

Cuadro 18. Valores para la construcción de la curva IDF en la microcuenca 7

T	1/T	Valores de precipitación	
		30	360
10	0.100	102.635	17.066

**Curvas de Intensidad Duración y Frecuencia para la microcuenca trece**

Cuadro 19. Valores para la construcción de la curva IDF en la microcuenca 13

T	1/T	Valores de precipitación	
		30	360
10	0.100	89.280	16.862

T: Período de retorno (expresado en años)

**Cálculo de probabilidades de lluvias**

Para este cálculo se tomaron los datos pluviométricos de las estaciones de Ticuantepe y El Crucero, evaluándose 10 años históricos. Aquí se determinan las probabilidades de un día seco cuando el día anterior fue húmedo [P (H/S)], y las probabilidades de un día húmedo dado que el día anterior fue húmedo [P (H/H)]. Se realizó la observación de cada día en cada mes de cada año evaluado, obteniendo las probabilidades diarias mensuales; luego éstas se promediaron para tener las probabilidades mensuales. En los anexos 36 y 37 se presentan los datos mensuales para determinar las probabilidades de lluvia para cada microcuenca.

En los cuadros 20 y 21 se muestran los valores mensuales de las probabilidades antes mencionadas en cada microcuenca con sus respectivos años evaluados.

Cuadro 20. Valores de las probabilidades de lluvia para la microcuenca 7

Meses	E	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D
P (H/S)	0.91	0.95	0.96	0.92	0.65	0.49	0.51	0.49	0.37	0.44	0.68	0.85
P (H/H)	0.09	0.05	0.04	0.08	0.35	0.51	0.49	0.51	0.63	0.56	0.32	0.15



**Cuadro 21. Valores de las probabilidades de lluvia para la microcuenca 13**

<b>Meses</b>	<b>E</b>	<b>F</b>	<b>M</b>	<b>A</b>	<b>M</b>	<b>J</b>	<b>J</b>	<b>A</b>	<b>S</b>	<b>O</b>	<b>N</b>	<b>D</b>
<b>P (H/S)</b>	0.85	0.94	0.95	0.93	0.66	0.47	0.45	0.46	0.42	0.40	0.64	0.81
<b>P (H/H)</b>	0.15	0.06	0.05	0.07	0.34	0.53	0.55	0.54	0.58	0.60	0.36	0.19

Ver índice de abreviaturas utilizadas.

Existen otras variables de precipitación necesarias para que SWAT pueda realizar adecuadamente la modelación, también se tomaron los datos pluviométricos de 10 años históricos de precipitación. Las variables evaluadas son:

- ⇒ Promedio del número de días de precipitación en el mes,
- ⇒ Promedio diario de precipitación en el mes (mm/día),
- ⇒ Desviación estándar de la precipitación diaria en el mes (mm/día),
- ⇒ Coeficiente sesgado para la precipitación diaria en el mes.

Cada una de estas variables se determinó para ambas microcuencas. Los valores mensuales de estas variables se presentan en los anexos 38 y 39.

Aparte de las variables de precipitación, la base de datos de clima incluye otras, estas son: temperatura del aire, temperatura punto de rocío, velocidad del viento, radiación solar y la máxima media hora de lluvia para todo el período (ver anexos 40 y 41). En ambas microcuencas se evaluaron 10 años de 1992 al 2001, a excepción del cálculo de la máxima media hora de lluvia.

Para el cálculo de la máxima media hora de lluvia, se tomaron las máximas intensidades mensuales en cada año con registros pluviográficos de 17 años. Tanto para la microcuenca 7 como para la 13, se tomaron los mismos registros y años utilizados para el cálculo de las curvas de Intensidad - Duración y Frecuencia.

Para este cálculo, se realizaron lecturas de los pluviogramas y luego se tomaron las intensidades máximas absolutas para cada mes en cada año, siendo la forma requerida para alimentar la base de datos de SWAT. En los cuadros 22 y 23 se presentan las intensidades máximas en media hora para la microcuenca 7 y 13 respectivamente.

**Cuadro 22. Máxima media hora de lluvia en la microcuenca 7**

17 años	Meses											
	E	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D
<b>Máxima ½ hora de lluvia</b>	69.2	14.4	41.4	77.6	111.2	108.0	95.0	87.4	101.6	83.6	61.6	48.4

**Cuadro 23. Máxima media hora de lluvia en la microcuenca 13**

17 años	Meses											
	E	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D
<b>Máxima ½ hora de lluvia</b>	22.8	8.6	39.2	61.6	85.0	95.6	82.8	85.6	78.2	69.0	63.4	19.0

### **Factor cobertura o uso del suelo**

SWAT presenta una lista de 100 tipos de cobertura más comunes. De esa lista se utilizan coberturas similares a las encontradas en los sitios de estudio (ver cuadros 9 y 10); estas coberturas son:

#### ***Microcuenca 7***

- Agricultura genérica, y
- Huerta.

#### ***Microcuenca 13***

- Bosque,
- Bosque siempre verde, y
- Bosque siempre verde 2.

Gran parte de las variables de uso del suelo son utilizadas para la determinación de la calidad del agua y crecimiento de las plantas, lo cual no forma parte del objetivo del trabajo, sin embargo se determinaron algunas de ellas: temperatura óptima y mínima para el crecimiento de las plantas, máxima altura del dosel, máxima profundidad de las raíces y el factor de manejo de la USLE o factor C de la cobertura.

Cuadro 24. Determinación de variables de los cultivos en la microcuena 7

Variables	Cultivos encontrados en la microcuena siete				Promedio
	Maíz	Fríjol	Piña	Musáceas	
<b>T_OPT</b>	29.4	27	30	27	28.4
<b>T_BASE</b>	23.9	15	25	22	21.5
<b>CHTMX</b>	2.5	1.1	0.5	4	2
<b>RDMX</b>	2	1.5	0.6	1.5	1.4
<b>USLE_C</b>	0.35	0.35	0.01	0.01	0.18
<b>IDC</b>	4	1	4	4	

Ver índice de abreviaturas utilizadas.

Las variables de las coberturas anteriores se toman en cuenta para modificar un poco la cobertura predefinida por SWAT, siendo la Agricultura genérica la única que se modificará. Una vez que se obtiene la información de entrada, se procede a ejecutar SWAT utilizando como interfase ArcView. Luego se realiza la interpretación y análisis de los resultados.

## VIII. Resultados y discusión

### 8.1. Simulación en la microcuenca 7

#### 8.1.1. Precipitación generada en la simulación

Una de las entradas de agua en el suelo es debida a las precipitaciones pluviales, factor que está muy relacionado con el balance hídrico dentro de una cuenca hidrográfica. Por su parte, estas precipitaciones pueden causar pérdidas variables de suelo, en dependencia de las condiciones de éste, a este fenómeno se le denomina *erosividad pluvial*. La erosividad de una tormenta es función de su intensidad y duración, y de la masa, diámetro y velocidad de las gotas de lluvia. Para que el modelo realizara la simulación, a parte de toda la información introducida y antes mencionada, se generó una base de datos que incluía precipitaciones históricas diarias de 10 años; el programa interpretó todas las variaciones y creó un escenario simulando tales variaciones para los años proyectados. En el gráfico 5 se presentan los resultados de precipitación simulada.

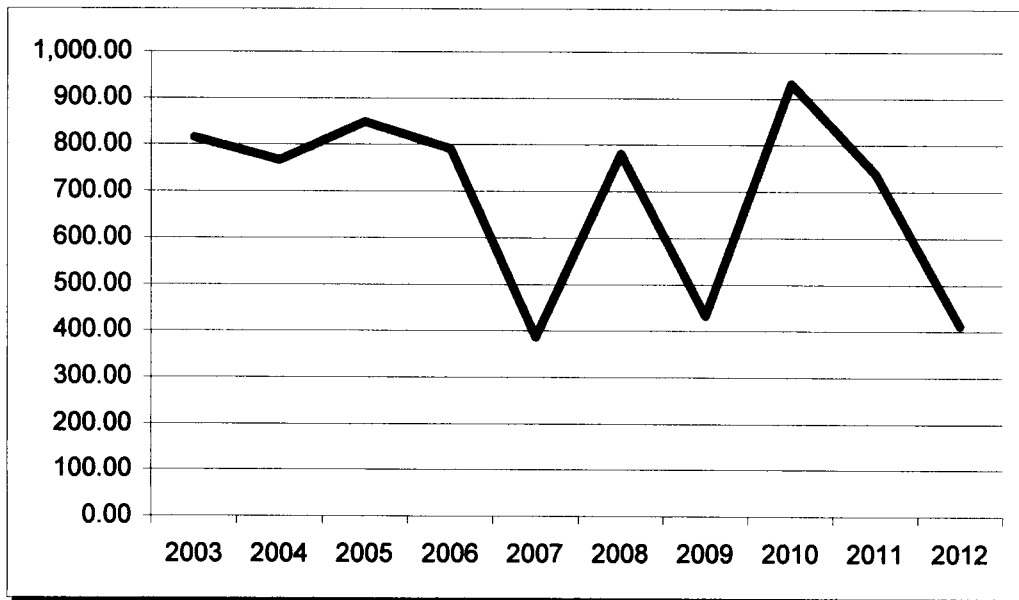


Gráfico 5. Comportamiento de la precipitación a lo largo de los 10 años simulados en la microcuenca 7

La máxima lámina precipitada se produce en el 2010 con 931.99 mm; la mínima precipitación tiene lugar en el año 2007 con una lámina de 386.70 mm. El promedio anual es de 690.25 mm. Muchos años de estudio han demostrado que el comportamiento de la precipitación influye en relación directa sobre las variaciones de escorrentías superficiales y de la erosión hídrica. Morgan (1997) afirma que las pérdidas de suelo están estrechamente relacionadas con la lluvia, en parte por el poder de desprendimiento del impacto de las gotas al golpear el suelo, y en parte, por la contribución de la lluvia a la escorrentía. Por lo tanto, las mayores y menores precipitaciones generarán mayores y menores cantidades de agua por escorrentía y sedimentos.

### **8.1.2. Simulación con el mapa de uso actual del suelo**

En el cuadro 9 se muestra la cobertura actual para la microcuenca 7. Esta cobertura ha sido sustituida por la de mayor semejanza disponible en el programa SWAT, para poder ejecutar la modelación satisfactoriamente. En esta microcuenca predominan cultivos propiamente agrícolas, siendo éstos anuales y semiperennes, además se encontraron pequeños huertos familiares que en la mayoría de los casos poseían muchos árboles frutales y pequeñas áreas de cultivos (piña, maíz, frijol, musáceas). Los cultivos anuales y semiperennes encontrados fueron sustituidos por agricultura genérica, puesto que se tenía la otra opción de incluir una cobertura denominada *rango agrícola*, pero la base de datos mostró que no se tomaba en cuenta las labores de fertilización. La agricultura genérica puede ser definida como la agricultura que incluye no solo un determinado rango de cultivos, sino muchos sin importar su ciclo de producción. La base de datos del programa posee una cobertura de *huertos*, por lo que no hubo mayor dificultad para la modelación en relación a la otra cobertura de la zona.

El estudio de suelo está a nivel de serie, empleándose dos series en la modelación para esta microcuenca: San Ignacio y Casa Blanca. La primera cubre la mayor extensión, con un porcentaje de 94.38 en relación a la otra. Todas las variables de este factor son de tipo físicas, las cuales fueron determinadas tomando en cuenta cada horizonte del suelo. En el gráfico 6 se muestran los resultados de escorrentía y sedimentos producidos.

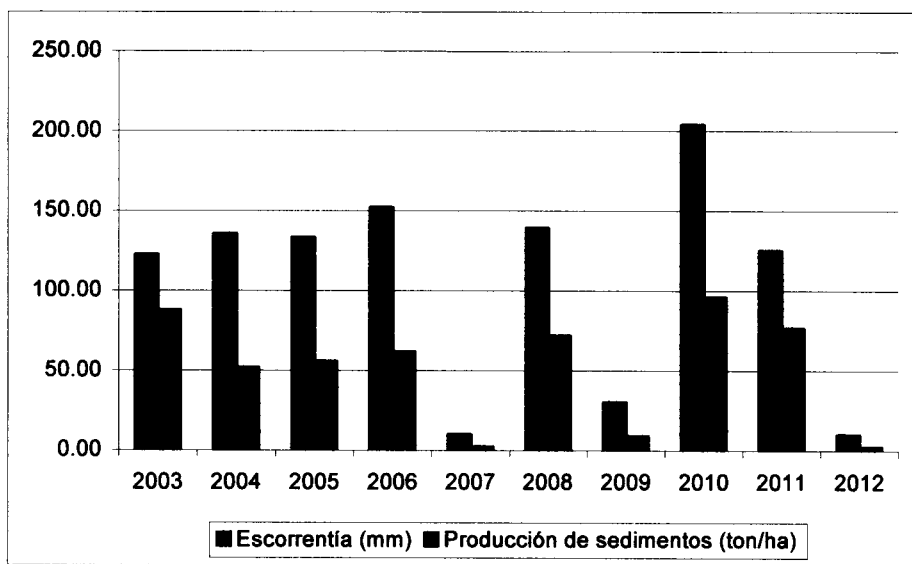


Gráfico 6. Comportamiento de la escorrentía y producción de sedimentos a lo largo de los 10 años de simulación con cobertura actual en la microcuenca 7

El máximo escurrimiento esperado se obtiene en el año 2010 con 203.98 mm. En cambio en el 2007 y el 2012 se producen los menores láminas de escorrentías de 9.99 y 9.92 mm respectivamente. Al final de los 10 años de simulación se obtiene un promedio anual de 106.22 mm (ver anexo 42). Se ve claramente que los máximos y mínimos escurrimientos ocurren en los mismos años en que se producen las máximas y mínimas láminas precipitadas, de modo que tales escurrimientos dependen directamente del comportamiento en intensidad y magnitud de las precipitaciones ocurridas en ese momento. Si analizamos el comportamiento de la escorrentía producida con la precipitación de cada año, notamos que muchas veces no se cumple la teoría sostenida de la relación entre ambas variables (precipitación y escorrentía), por ejemplo, la lámina precipitada es un poco mayor en el primer año de la simulación respecto al segundo, se supone que la escorrentía debería variar de igual forma pero sucede lo contrario evaluando siempre esos dos primeros años.

La explicación teórica es la siguiente: la escorrentía producida en el primer año es menor respecto al segundo debido posiblemente a que la evapotranspiración fue mayor, influida en gran parte por coberturas aledañas a la microcuenca; otro factor puede deberse a los cambios en la dirección y velocidad del viento que ocasionan desigual distribución de la lluvia sobre la

superficie; y un último factor responsable de este fenómeno es la intensidad y duración de las lluvias. En el período lluvioso del segundo año de la simulación ocurre que, aunque la lámina acumulada fue menor, las lluvias cayeron con mayor intensidad respecto al primer año, por lo que el suelo se saturó poco a poco disminuyendo la tasa de infiltración y no pudiendo el suelo retener más agua, además el suelo puede sellarse produciendo encostramiento como defensa del mismo; el agua continúa su movimiento haciéndolo superficialmente produciéndose la escorrentía superficial, y como resultado tenemos mayor cantidad de escorrentía para el segundo año simulado.

La máxima producción de sedimentos tiene lugar en el año 2010 con 95.86 ton/ha; en el 2007 y 2012 ocurren las menores producciones, de 2.31 y 2.40 ton/ha respectivamente, obteniéndose un promedio anual a lo largo de los 10 años de 51.47 ton/ha (ver anexo 42). Las máximas y mínimas producciones de sedimentos se ajustan a las máximas y mínimas escorrentías. Analizando los mismos años que en el caso de la escorrentía, notamos que en el primer año de la simulación la producción de sedimentos es mayor respecto al segundo año, y se supone que si la escorrentía es menor en el primer año, la producción de sedimentos también tiene que ser menor; el hecho de que no sea a como se plantea es debido a que es hasta en el segundo año donde la microcuenca se encuentra con más cobertura en la parte alta y media. El agua precipitada en la parte alta y media intercepta el suelo protegido, la cobertura ayuda a disminuir la velocidad y energía cinética de las gotas de lluvias, además de permitir una mejor infiltración, el agua escurre subsuperficialmente y en la parte baja de la microcuenca el flujo retorna al canal principal. Debido al planteamiento anterior, la tasa removida de suelo es menor aunque la lámina precipitada sea mayor respecto al primer año. Solo en la parte baja la escorrentía superficial logra arrastrar suelo resultando una menor producción de sedimentos en el segundo año. El análisis que se realizó con la escorrentía es válido para justificar el comportamiento de la producción de sedimentos.

Tomando en cuenta que los suelos de esta microcuenca han sido destinados tradicionalmente por los cultivos anuales y semiperennes, y considerando que no tienen un manejo significativo dirigido a la conservación y mejoramiento del suelo, obviamente que si esto continúa de igual forma, el impacto de degradación de los suelos sería mayor, implicando mayores escurrimientos

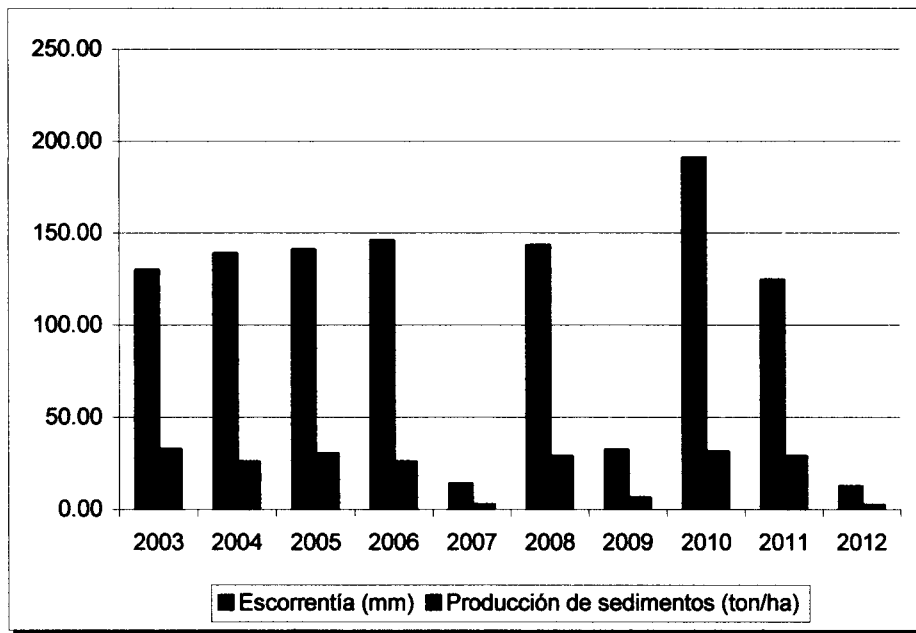
y por ende mayores pérdidas de suelo. Considerando lo anterior, los resultados mencionados de escurrimientos y producciones de sedimentos, ya no serían los mismos, obteniéndose diferencias negativas por las labores y el manejo realizado en la microcuenca, es decir, si se realizara un levantamiento del uso del suelo por lo menos para un año de diferencia respecto al uso modelado en este estudio y se realiza una modelación para este nuevo uso, seguramente los valores tanto de escurrimientos como de producción de sedimentos cambiarían, y posiblemente los valores máximos y mínimos se tendrían para los mismos años, sabiendo que el cambio de clima y precipitación no serían significativos.

### **8.1.3. Simulación con el mapa de uso potencial del suelo**

El uso potencial del suelo representa el uso máximo más apropiado a que pueden ser sometidos los suelos, dentro de cada medio ambiente, para lograr una explotación continua y económicamente rentable con el mínimo deterioro de los suelos. En la parte alta de la microcuenca se encuentra ocupada por bosque, en la parte media por cultivos anuales con manejo agroforestal y en la parte baja por bosque seco y cultivos perennes. Estas coberturas fueron sustituidas por las siguientes coberturas encontradas en la base de datos del modelo a como sigue: bosque siempre verde, agricultura genérica, bosque caducifolio y bosque, respectivamente.

Las condiciones de suelo, de clima y precipitación, son las mismas con las que se trabajaron en la simulación del uso actual del suelo; incluso el procedimiento realizado y los detalles correspondientes en el proceso del modelamiento. Los resultados de esta simulación se muestran en el gráfico 7 a continuación.





**Gráfico 7. Comportamiento de la escorrentía y producción de sedimentos a lo largo de los 10 años de simulación con el uso potencial en la microcuenca 7**

El gráfico 7 muestra que en el 2010 se presenta la máxima escorrentía con 190.64 mm, y las mínimas escorrentías se dan en el 2007 y 2012 con 14.08 y 12.38 mm respectivamente, obteniéndose un promedio anual de 107.36 mm (ver anexo 43).

Las máximas producciones de sedimentos ocurren en el 2003 con 32.49 ton/ha y en el 2010 con 31.36 ton/ha, siendo mínima la producción en el 2007 y 2012 con 2.51 y 2.34 ton/ha respectivamente, con un promedio anual de 21.43 ton/ha (ver anexo 43).

En esta modelación ocurre el mismo fenómeno que en el caso anterior, donde la cantidad de escorrentía no se comporta de manera directamente proporcional a la precipitación y donde el sedimento producido tampoco se comporta en relación directa a la escorrentía. Aunque el uso del suelo que se analiza en este caso no sea el mismo, no queda excluida toda la hipótesis planteada cuando se analizaron los dos primeros años simulando el uso actual del suelo.

#### 8.1.4. Comparación de la escorrentía y los sedimentos producidos por tipo de uso del suelo

Se entiende que con la cobertura potencial se tiene una mayor protección al suelo contra el impacto de las gotas de la lluvia y el arrastre de sedimentos provocados por la escorrentía, obteniéndose una mayor infiltración en el suelo, contribuyendo a este proceso el complejo radical de la cobertura presente y las características físicas del suelo, existiendo una mayor agregación y cantidad de microsporos, dando lugar a una mayor retención de humedad y un movimiento de agua en el espacio subsuperficial del suelo. Pero si se realiza una comparación con los promedios entre los dos usos, la diferencia porcentual no es tan significativa en cuanto a escorrentía (cuadro 25).

Cuadro 25. Resultados de escorrentía y sedimentos del uso actual y potencial del suelo en la microcuenca 7

Año	Escorrentía (mm)		Producción de sedimentos (ton/ha)	
	Uso actual	Uso potencial	Uso actual	Uso potencial
2003	122.66	130.05	87.64	32.49
2004	135.75	139.05	51.75	25.88
2005	133.24	141.17	55.58	30.16
2006	152.15	146.12	61.73	25.81
2007	9.99	14.08	2.31	2.51
2008	139.09	143.37	71.86	28.72
2009	30.10	32.23	8.98	6.38
2010	203.98	190.64	95.86	31.36
2011	125.30	124.47	76.63	28.60
2012	9.92	12.38	2.40	2.34
<b>Promedio</b>	<b>106.22</b>	<b>107.36</b>	<b>51.47</b>	<b>21.43</b>

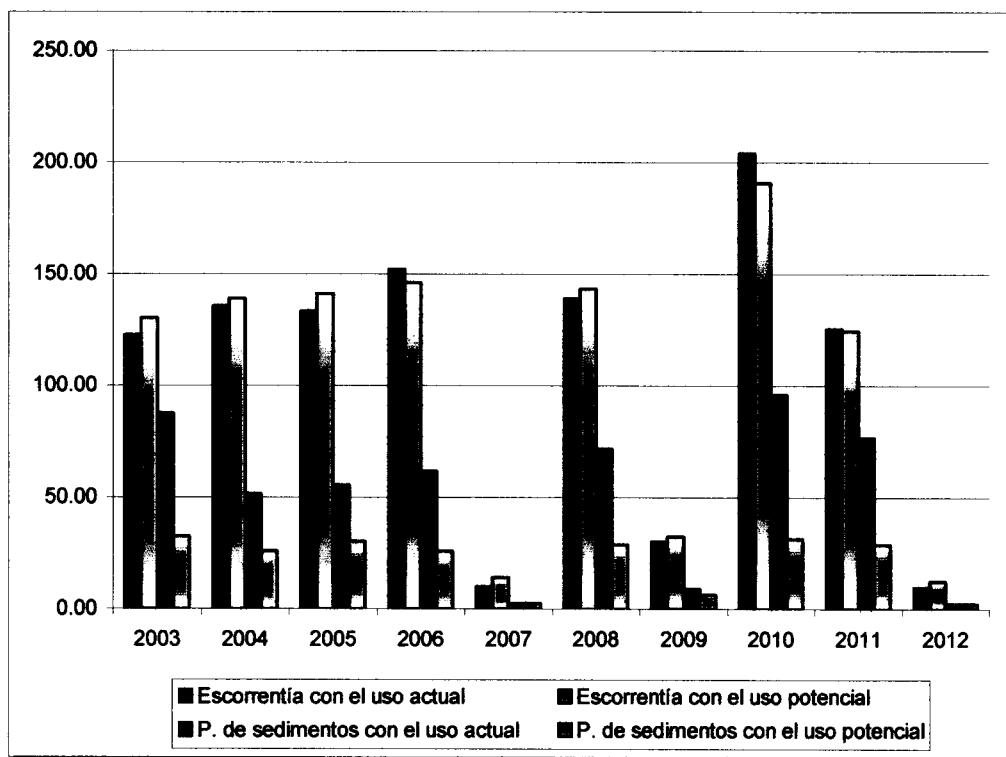


Gráfico 8. Comparación de resultados de escorrentía y sedimentos por tipo de uso en la microcuenca 7

Si se realiza una comparación detenida de la escorrentía en cada año, se nota que la variación entre un uso y otro es mínima, inclusive los años de máxima y mínima producción son los mismos; aunque con la producción máxima hay una variación del 6.54% y con una producción mínima del 19.87%. El promedio para el uso actual es de 106.22 mm y para el uso potencial es de 107.36 mm, habiendo un aumento mínimo con el uso potencial de 1.06%.

En cuanto a la producción de sedimentos, las mayores producciones se dan con el uso actual. Comparando los promedios se ve que, la producción de sedimentos con el uso actual supera un poco más del doble que la producción respecto al uso potencial. La variación de los promedios anuales entre ambos usos es del 58.36%.

La escorrentía de todos los años simulados entre ambos usos se comporta de manera similar, variando en cantidades mínimas. Con el uso potencial el suelo recibe el mínimo deterioro, el agua precipitada encuentra un suelo un poco más cubierto, por lo que esta agua se infiltra hacia las capas supliendo a la vez las necesidades hídricas de los cultivos y alimentando a los acuíferos superficiales; en el subsuelo el agua se mueve lateralmente proveniente de los acuíferos (no confinados) formando un flujo que retorna al canal principal en la parte más baja de la microcuenca. Con el uso actual el agua de la lluvia intercepta el suelo un poco menos cubierto, la tasa de infiltración disminuye no existiendo un máximo aprovechamiento por los cultivos, el flujo de escurrimiento es un tanto mayor, y en el punto de salida de la microcuenca llega aproximadamente la misma cantidad de agua en relación al uso potencial. Por último se puede decir que existe una mayor infiltración y movimiento subsuperficial del agua, ocurriendo menores escorrentías con el uso potencial, además ya sea que por el tipo de cobertura o por las condiciones climáticas (temperatura, insolación, etc) la evapotranspiración es un poco menor.

En la mayoría de los años simulados se obtiene una producción de escorrentía un poco mayor con el uso potencial, a excepción del año 2006, 2010 y 2011. En los años 2006, 2010 y 2011, la escorrentía aumenta un poco con el uso actual, esto se debe a que la evapotranspiración para esos años fue menor con este uso, acusando a las condiciones específicas de clima.

Ya se dijo que el suelo está menos protegido con el uso actual, la infiltración es menor, y por ende aumenta la escorrentía superficial, como resultado la producción de sedimentos siempre va a ser mayor con este uso; para todos los años simulados los sedimentos producidos siempre son mayores que los generados con el uso potencial, las cantidades de agua al final de la microcuenca son aproximadamente iguales entre ambos usos, con la diferencia que con cobertura actual el agua escurre superficialmente removiendo y arrastrando mayor cantidad de suelo.

Las coberturas de los dos usos del suelo fueron sustituidas por las que más se parecieran a las existentes en la base de datos del modelo. La agricultura genérica es la cobertura que se utilizó en la modelación de los dos usos, pero el área que ocupa esta cobertura es mayor con el uso actual del suelo y a parte de eso existe más cobertura boscosa con el uso potencial (ver cuadro 26 y gráfico 9).

Cuadro 26. Resumen de las coberturas predeterminadas, utilizadas para la modelación por tipo de uso en la microcuenca 7

Cobertura predeterminada	Uso actual		Uso potencial	
	Área (Ha)	%	Área (Ha)	%
Agricultura genérica	182.75	68.49	166.05	62.24
Huerto	84.06	31.51	0.00	0.00
Bosque siempre verde	0.00	0.00	61.06	22.89
Bosque caducifolio	0.00	0.00	35.64	13.36
Bosque	0.00	0.00	4.06	1.52
<b>Total</b>	<b>266.81</b>	<b>100.00</b>	<b>266.81</b>	<b>100.00</b>

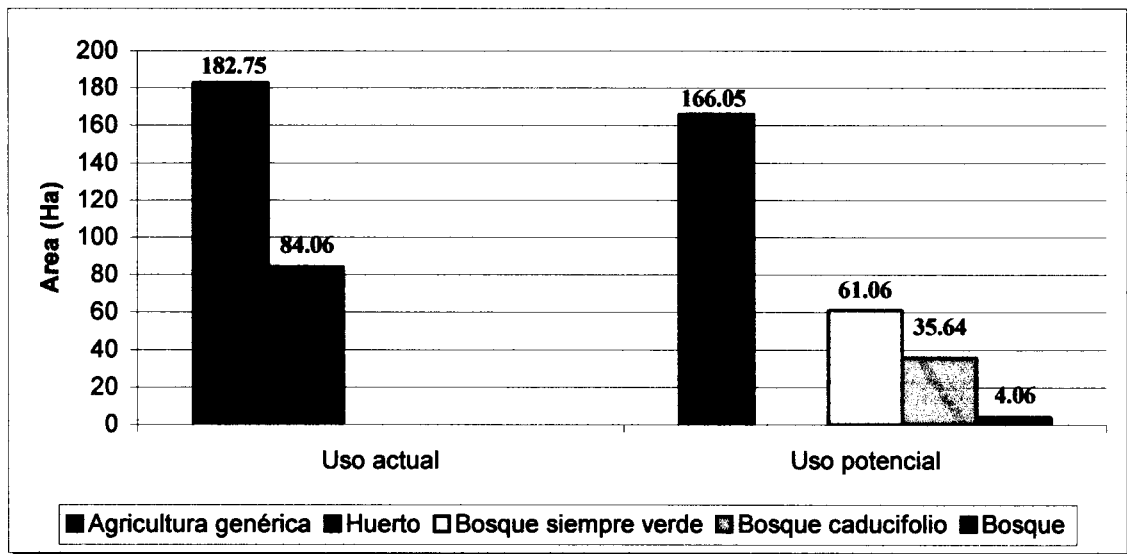


Gráfico 9. Coberturas predeterminadas utilizadas para la modelación de SWAT por tipo de uso en la microcuenca 7

## 8.2. Simulación en la microcuenca 13

### 8.2.1. Precipitación generada en la simulación

El comportamiento de la precipitación a lo largo de los 10 años simulados en esta microcuenca es un tanto similar al de la microcuenca 7, aunque las láminas precipitadas no sean las mismas, pero coinciden prácticamente los años de mayor y menor precipitación, aunque la mínima precipitada ocurre en el último año de la simulación. Los resultados anuales se muestran en el gráfico 10.

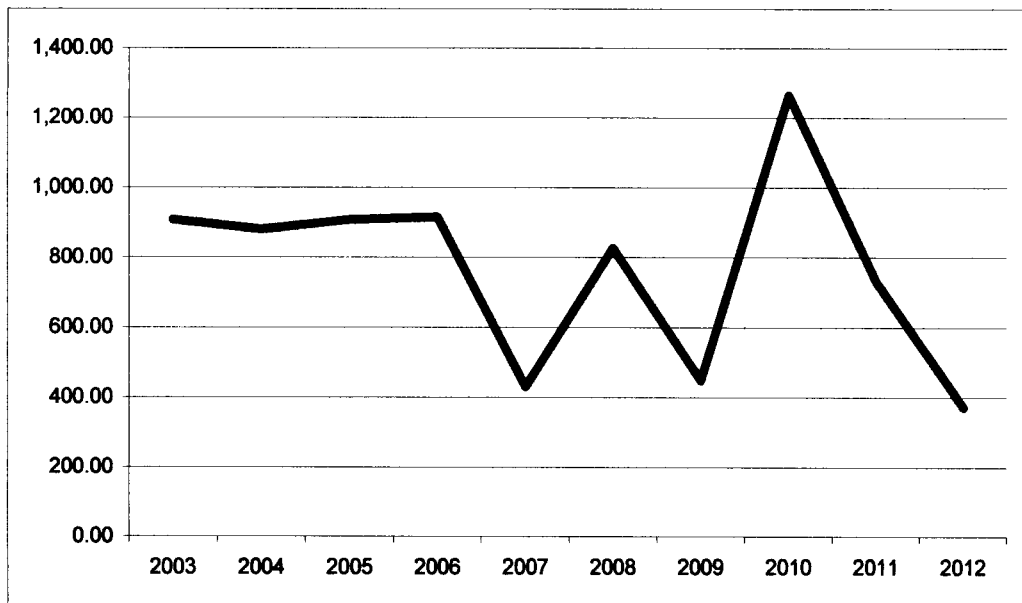


Gráfico 10. Comportamiento de la precipitación a lo largo de los 10 años simulados en la microcuenca 13

El gráfico 10 muestra que la máxima lámina precipitada se produce en el 2010 con 1, 265.56 mm; la mínima tiene lugar en el año 2012 con una lámina de 371.52 mm. El promedio anual de precipitación es de 769.10 mm. De acuerdo a lo que se ha venido planteando, estas variaciones de lluvia generarán las mismas variaciones de escorrentías y producción de sedimentos, aunque las cantidades no sean las mismas entre un uso y otro, siempre se copiará y se seguirá el mismo comportamiento entre la precipitación y las cantidades de agua que se producen dentro de una cuenca o microcuenca hidrográfica.

## 8.2.2. Simulación con el mapa de uso actual del suelo

En esta microcuenca el suelo está prácticamente cubierto por bosque formando un sistema agroforestal, que va de bosque bajo abierto más café bajo sombra, hasta bosque alto cerrado más café bajo sombra. La cobertura empleada para la simulación se escogió en base al concepto de bosque y además en base a las densidades de cobertura que las originales coberturas poseían. El bosque alto cerrado fue sustituido por bosque siempre verde 2, cubriendo una extensión del 86.92%, seguido por bosque y de último bosque siempre verde.

La serie de suelo encontrada y que predomina es El Castillo, una única serie que abarca en su totalidad toda la microcuenca. También se creó una base de datos de variables físicas para esta serie y la simulación pudiera llevarse a cabo sin ningún problema.

Al igual que en la modelación con el uso actual la información de suelo, clima y precipitación fue introducida para proceder a la simulación, y todo el procedimiento fue el mismo que el realizado en la microcuenca 7. En el gráfico 11 se presentan los resultados de la simulación de escorrentía y sedimentos.

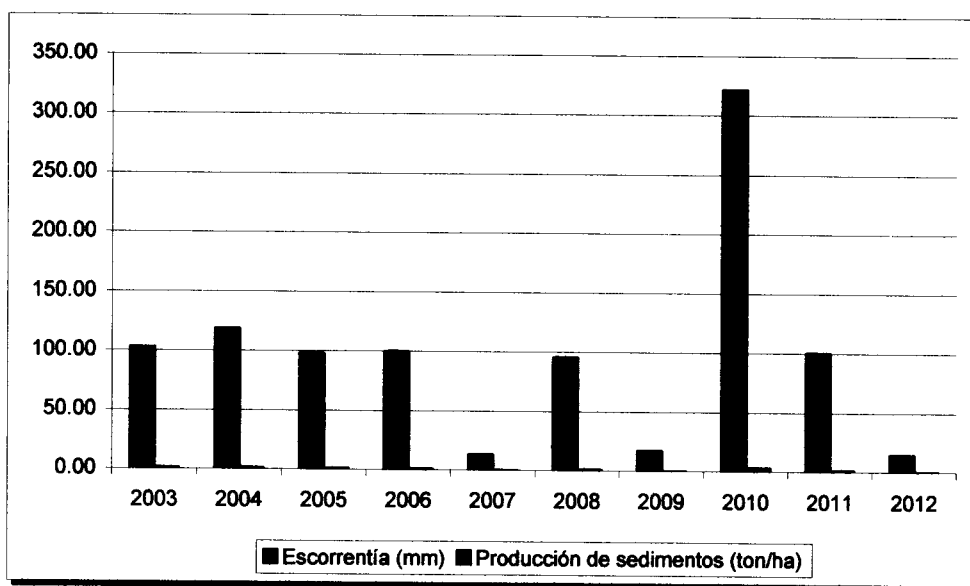


Gráfico 11. Comportamiento de la escorrentía y sedimentos a lo largo de los 10 años de simulación con cobertura actual en la microcuenca 13

La máxima escorrentía se obtiene en el año 2010 con 321.19 mm; en el 2007 y 2012 se obtienen las producciones mínimas de 12.91 y 14.39 mm respectivamente. Al final de los 10 años de simulación se obtiene un promedio anual de 97.91 mm (ver anexo 44). La máxima y mínima escorrentía ocurre en el mismo año en que se produce la máxima y mínima precipitación, lo que evidencia las relaciones antes descritas.

A la vez que ocurren las máximas y mínimas cantidades de escorrentías, también ocurren las mayores y menores cantidades de sedimentos producidos, teniendo que la máxima producción de sedimentos tiene lugar en el año 2010 con 2.88 ton/ha; en el 2007 y 2012 ocurren las menores producciones, de 0.04 y 0.05 ton/ha respectivamente, obteniéndose un promedio anual a lo largo de los 10 años de 0.80 ton/ha (ver anexo 44).

Es muy notable y es de esperarse que el suelo removido sea muy poco, puesto que no sobrepasa la pérdida permisible, esto se debe a que es una microcuenca con suelos bajo conservación, donde todo el año se mantiene una cobertura abundante y densa.

### **8.2.3. Simulación con el mapa de uso potencial del suelo**

El mapa de uso potencial del suelo no está muy alejado del mapa de uso actual, puesto que las coberturas en este caso son prácticamente las mismas, al igual que las coberturas empleadas para la modelación. El bosque alto cerrado más café bajo sombra que se encontraba en el uso actual, cambia a bosque de conservación, y la cobertura empleada para la simulación es la misma. Los resultados de esta simulación se presentan en el gráfico 12.



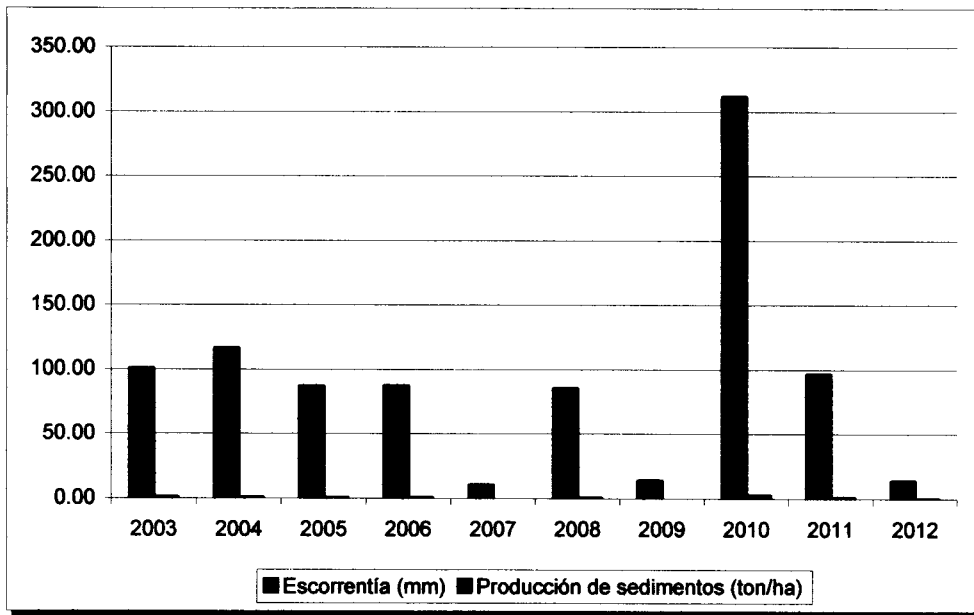


Gráfico 12. Comportamiento de la escorrentía y sedimentos a lo largo de los 10 años de simulación con el uso potencial en la microcuenca 13

El gráfico muestra que en el 2010 se da la máxima escorrentía con 311.61 mm, y las mínimas producciones se dan en el 2007 y 2012 con 10.46 y 13.79 mm respectivamente, obteniéndose un promedio anual de 92.34 mm (ver anexo 45).

La máxima producción de sedimento resulta ser en el año 2010 con 2.59 ton/ha, siendo mínima la producción en el 2012 con 0.04 ton/ha, pero para el año 2007 no hubo producción de sedimentos, con un promedio anual de 21.43 ton/ha (ver anexo 45).

En el año 2010 se produjeron las mayores producciones tanto de escorrentías como de sedimentos, las producciones mínimas de escorrentías y sedimentos concordaron en cuanto al año, obteniéndose la mínima lámina en el 2007, año en que la producción de sedimentos es 0.00 ton/ha, por lo que la cantidad de sedimento removido depende de la cantidad de agua de escorrentía.

#### 8.2.4. Comparación de la escorrentía y sedimentos por tipo de uso del suelo

Las coberturas tanto con el uso actual como con el uso potencial son casi similares, esperando por lo tanto que los resultados de escorrentía y sedimentos sean similares también. Las mayores y menores cantidades de escorrentías y sedimentos coinciden entre un uso y otro, al igual que el mismo año en que se producen. En el cuadro 27 y gráfico 13 se presentan los resultados de cada uso del suelo.

Cuadro 27. Resultados de escorrentía y sedimentos del uso actual y potencial del suelo en la microcuenca 13

Año	Escorrentía (mm)		Producción de sedimentos (ton/ha)	
	Uso actual	Uso potencial	Uso actual	Uso potencial
2003	102.67	100.84	1.03	0.96
2004	118.43	116.52	0.92	0.79
2005	97.54	86.96	0.74	0.58
2006	99.68	87.35	0.72	0.50
2007	12.91	10.46	0.04	0.00
2008	95.39	85.39	0.69	0.57
2009	16.97	14.01	0.06	0.01
2010	321.19	311.61	2.88	2.59
2011	99.98	96.43	0.92	0.78
2012	14.39	13.79	0.05	0.04
<b>Promedio</b>	<b>97.91</b>	<b>92.34</b>	<b>0.80</b>	<b>0.68</b>

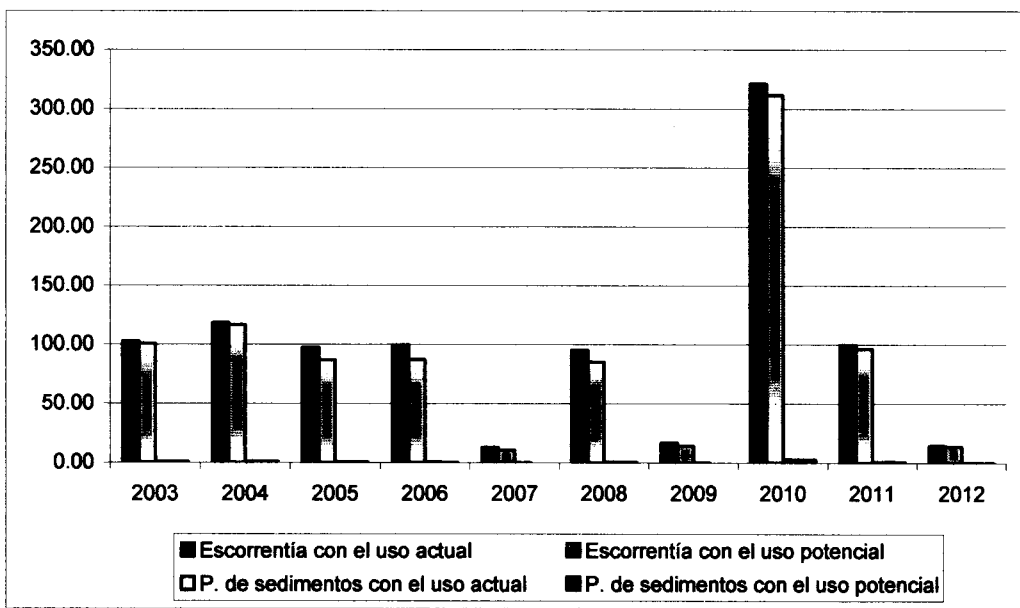


Gráfico 13. Comparación de resultados de escorrentía y sedimentos por tipo de uso en la microcuenca 13

Comparando la escorrentía entre los tipos de usos del suelo, se nota que la producción es mayor con el uso actual, aunque la diferencia en el aumento es mínima, habiendo una diferencia del 2.98% en cuanto a la producción máxima y de 18.98% respecto a la producción mínima. Entre ambos tipos de usos, el promedio varía en un 5.69%. La baja en la escorrentía se debe a que el agua que precipita se infiltra, alimentando los acuíferos subyacentes, esto debido a la mayor cobertura del suelo, lo que induce a retener el agua y que una parte pase a la capa activa del suelo y sea aprovechada por las plantas y la otra pase a formar parte del agua subterránea, las que luego retornarán al canal de drenaje más cercano.

En cuanto a las producciones de sedimentos, obviamente que si las producciones de agua en el uso potencial son menores, las cantidades de suelo removido por lo tanto, serán menores, obteniéndose la máxima producción en el 2010, y ésta se reduce en un 10.07% respecto al uso actual; en cuanto a la mínima producción, la reducción es del 100% ocurrida en el 2007. La variación referente al promedio entre ambos usos es del 15%.

Todas las coberturas utilizadas para la simulación con el uso actual, también se utilizan para la simulación con el uso potencial, la única diferencia consiste en que el bosque y el bosque siempre verde no representan las mismas áreas, por ejemplo: con el uso actual el bosque abarca un área de 10.32 hectáreas y con el uso potencial el área disminuye a 1.45 hectárea; de igual forma sucede con el bosque siempre verde abarca un área de 8.46 hectáreas con el uso actual y con el uso potencial aumenta el área pasando a 15.44 hectáreas. En el cuadro 28 y gráfico 14 se presenta más a detalle este planteamiento.

Cuadro 28. Resumen de las coberturas predeterminadas, utilizadas para la modelación por tipo de uso en la microcuenca 13

Cobertura predeterminada	Uso actual		Uso potencial	
	Área (Ha)	%	Área (Ha)	%
Bosque	10.32	7.19	1.45	1.01
Bosque siempre verde	8.46	5.89	15.44	10.75
Bosque siempre verde 2	124.84	86.92	126.73	88.24
<b>Total</b>	<b>143.62</b>	<b>100.00</b>	<b>143.62</b>	<b>100.00</b>

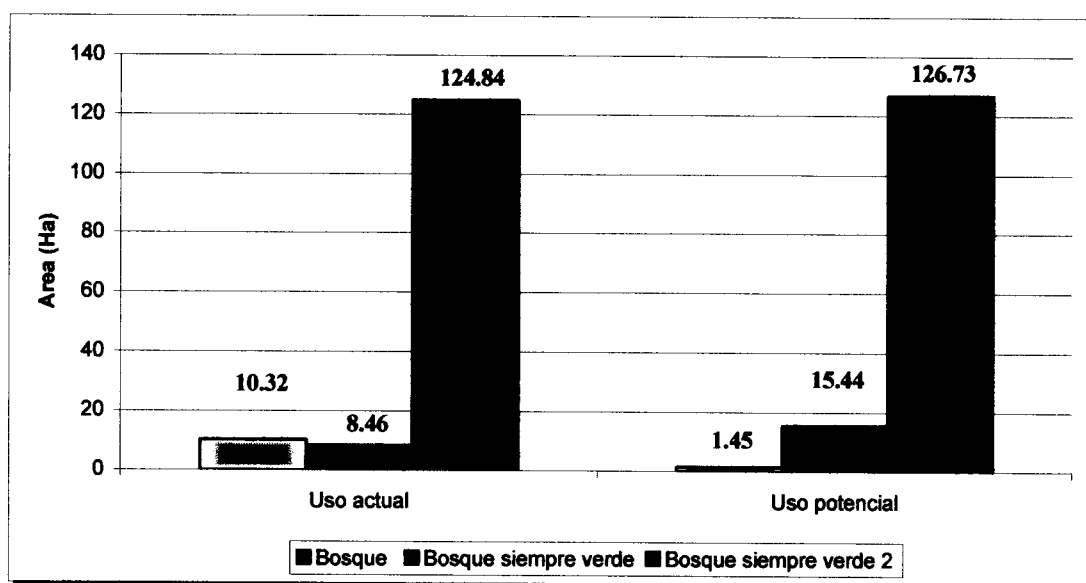


Gráfico 14. Coberturas predeterminadas utilizadas para la modelación de SWAT por tipo de uso en la microcuenca 13

## **IX. Conclusiones**

### **9.1. Microcuenca 7**

- La precipitación máxima y mínima es de 931.99 mm y de 386.70 mm para el año 2010 y 2007 respectivamente, con un promedio anual de 690.25 mm en el lapso de los 10 años evaluados. La precipitación en todo caso, se considera un factor activo en donde las variaciones en la lámina caída influye directa y proporcionalmente en las producciones tanto de escorrentías como de sedimentos.
- En el mismo año en que se produce la máxima escorrentía con la modelación del uso actual, se obtiene la máxima cantidad de agua modelándose el uso potencial, existiendo una diferencia de 6.54% entre ambos usos, siendo menor la cantidad producida con el uso potencial. La variación en el promedio a largo de los 10 años de simulación, es de 1.06%, teniéndose el promedio un poco más alto con el uso potencial. La mayor parte del agua ya no se mueve por la superficie como en el caso del uso actual, sino que, el agua aprovecha las condiciones de cobertura y suelo, y escurre subsuperficialmente alimentando acuíferos más profundos, pero en todo caso esta agua vuelve a la superficie como flujo de retorno en el punto más bajo del canal de drenaje, existiendo por lo tanto una producción semejante a la ocurrida con el uso actual.
- Ciertamente, las mayores producciones de sedimentos se dan con el uso actual, donde los valores sobrepasan el doble respecto al uso potencial, existiendo un aumento del 66.11% en cuanto a las producciones máximas con cobertura actual, clasificando este movimiento de suelo como una alta pérdida. Se obtiene un promedio anual de 51.47 ton/ha, además sobrepasa la pérdida permisible, que de acuerdo a las profundidades de las raíces de las coberturas en cuestión, la tolerancia tiene que ser de 6.70 ton/ha/año. Si con el uso potencial ocurren menores escurrimientos superficiales, lógicamente se removerán menores cantidades de suelo, esto debido a que el trecho que recorría el agua en la parte alta ha disminuido,

donde el arrastre de suelo se considera mayor de acuerdo a la pendiente y la fuerza cinética del agua; con el uso potencial existe mayor cobertura en la parte alta de la microcuenca y el área de agricultura es un poco menor respecto al uso actual del suelo.

- La evapotranspiración, es un factor que influye sobre la disminución de la escorrentía, al igual que otros factores tales como: los cambios de velocidad y dirección del viento, la intensidad y duración de la lluvia, y todos aquellos elementos meteorológicos relacionados al punto (temperatura, radiación solar, insolación, etc).
- El suelo posee un límite de saturación de humedad, cuando se llega a este límite el agua comienza a drenar y se produce la escorrentía superficial, muchas veces el suelo responde a la saturación de agua produciéndose un sellamiento superficial formando costras, lo que aumenta la escorrentía.

## **9.2. Microcuenca 13**

- El promedio de la precipitación en esta microcuenca es de 769.10 mm, con una máxima lámina precipitada de 1, 265.56 mm en el 2010, y una mínima precipitación en el 2012 de 371.52 mm. Retomando lo anterior, se sigue acusando a la precipitación como la responsable directa de las producciones de escorrentías y sedimentos.
- La escorrentía es mayor con la aplicación del uso actual que con el uso potencial, aunque la diferencia es mínima; con la aplicación del uso actual las producciones máximas aumentan en un 2.98%, representando un aumento en el promedio del 5.69% respecto al uso potencial. Las producciones de sedimentos son menores con el uso potencial disminuyendo en un 15% respecto al promedio entre ambos usos. De acuerdo a este promedio de los dos tipos de usos, se podría decir que la pérdida producida de suelo es de ninguna a ligera; y de acuerdo a la profundidad que presentan estos suelos, no sobrepasan la pérdida permisible la cual es de 6.70 ton/ha/año. Las variaciones tanto en producción de sedimentos como en escorrentía, son mínimas entre el uso actual y el potencial, puesto que la cobertura presente es prácticamente la apropiada de acuerdo a las capacidades de uso del suelo. En esta microcuenca la cobertura

la constituye un sistema boscoso, donde la diferencia de un tipo de bosque a otro es específicamente en la densidad del área cubierta y la densidad del área foliar.

- Las producciones de sedimentos dependen directamente de las cantidades producidas de agua, y éstas a la vez, se sujetan al régimen, cantidad e intensidad de precipitación ocurrida en un espacio y tiempo específico. Las variaciones en la curva de precipitación se deben exclusivamente a las variaciones ocurridas en las precipitaciones históricas introducidas en el modelo, por lo que el modelo realiza un pronóstico de las variables en cuestión, en este caso de escorrentía en mm/ha, de producción de sedimentos en ton/ha y de precipitación en mm, simulando la precipitación que fue previamente introducida.

### **9.3. Sobre la metodología aplicada**

- Los resultados obtenidos de escorrentía y de sedimentos, sirven para realizar planes de manejo de estas microcuencas en estudio, ya sea para un mayor aprovechamiento de los recursos suelos y agua, organizar la producción agrícola estableciendo estrategias de conservación de estos recursos que garanticen la sostenibilidad en todos los aspectos, prever posibles inundaciones en áreas críticas que afectan no solamente los cultivos, sino también las áreas humanizadas incluyendo estructuras (puentes, alcantarillado y estructuras de drenaje). El propósito de realizar comparaciones entre un uso del suelo y otro, nos permite escoger la manera de cómo producir rentablemente sin deterioro a los recursos y a la vez asegurando a largo plazo las cosechas futuras. Comprender el movimiento del agua es fundamental para conocer el déficit de la misma respecto a la demanda cuando el propósito sea aprovechar este vital líquido, así como ubicar obras hidráulicas y estructuras de drenaje, y si se toma en cuenta la precipitación, se pueden realizar estimaciones de intensidades de precipitación que retornan en un cierto período de tiempo y determinar el tiempo de vida de las construcciones pluviales.
- Los valores obtenidos tanto de escorrentía como de sedimentos son estimaciones que permiten realizar comparaciones entre un uso y otro, y las diferentes prácticas que se puedan aplicar. Se espera que el modelo sea comparado con otros para que pueda ser validado, y como ventaja podrá ser utilizado sustituyendo otras formas de estimar las variables determinadas en este estudio, obteniendo una base de datos y resultados un poco más sistematizados.



## **X. Recomendaciones**

### **10.1. Recomendaciones para las microcuencas analizadas**

#### **Microcuenca 7**

- Sabiendo que el suelo es muy susceptible al arrastre por la escorrentía superficial, se recomienda realizar prácticas dirigidas a la conservación de suelos y agua, además de prácticas que se enfaticen al mejoramiento de la calidad del suelo. Tanto en la parte alta como en la parte media se debería establecer sistemas agroforestales, con el fin de mantener una cobertura alta, media y baja para que se capte más agua y ocurran menores pérdidas de suelo. También es importante reforestar las riberas de los cauces caminos, conservando esa cobertura y tratando de no cultivar muy cerca a las redes de drenaje.
- En los huertos familiares se podrían establecer árboles frutales tratando de mantener cobertura permanente, esto debido a que estos huertos se encuentran en áreas con pendientes pronunciadas.

#### **Microcuenca 13**

- El uso de esta microcuenca debe mantenerse tal y como se encuentra actualmente, puesto que se ajusta al uso más apropiado del suelo.

## **10.2. Recomendaciones metodológicas del uso del Modelo SWAT**

- Si se desea adaptar en un 100% el modelo a las condiciones específicas de la zona de estudio, es importante determinar cada variable de cada factor que exige SWAT para su correcto modelamiento. Si no se logra determinar alguna variable, y ésta es de tipo climática, la solución sería tomar la opción de que SWAT utilice el generador climático.
- Para obtener resultados más objetivos y confiables, la información climática y de precipitación, deben ser exclusivos de la zona de estudio, por lo que es necesaria la instalación de estaciones climáticas y estaciones pluviográficas.
- Se requiere un estudio muy detallado de los acuíferos existentes en el área donde se lleve a cabo el estudio, para determinar las variables requeridas en el factor de aguas subterráneas, esto para una mayor comprensión del movimiento del agua dentro del ciclo hidrológico.
- Es recomendable tomar varios años históricos de clima y precipitación para tener más confiabilidad en los datos analizados listos para ser entrados en SWAT.
- Es importante que los mapas de cobertura, de suelo y de elevación digital, estén en formato raster lo más a detalle posible.
- Aunque SWAT genere una nueva red de drenaje, es recomendable contar con la red hídrica “natural” de la cuenca.
- Es más conveniente realizar la modelación en cuencas grandes, pero si se tiene una microcuenca, es necesario especificar un área mínima para detallar la delineación de la red de drenaje y tomar la opción de que SWAT genere múltiples unidades de respuesta hidrológica.
- Si uno de los objetivos es determinar la calidad del agua, es importante determinar las variables del factor cobertura del suelo, y generar una nueva base de datos de fertilizante, urbano y pesticidas. Pero si solo se quiere determinar el crecimiento de plantaciones

específicas, es recomendable crear una nueva base de datos de cobertura o modificar una ya existente en SWAT.

- Si el objetivo es determinar caudales, es aconsejable contar con caudales históricos diarios para realizar una calibración del modelo.

## **XI. Bibliografía**

- ANTEZANA, C.** 2001. Calibración de los factores de erosión utilizando la ecuación universal de pérdidas de suelos revisada “RUSLE” en sistemas de producción agrícola de la cuenca Taquiña. Tesis maestría profesional en levantamientos de recursos hídricos (Manejo y Conservación de Cuencas). Bolivia. 77 p.
- CATÍN, L.** 1997. Diagnóstico (Sondeo) agrosocioeconómico subcuenca III de la cuenca Sur del Lago de Managua. Tesis de ingeniero agrónomo. Universidad Nacional Agraria. Managua, Nicaragua. p 14.
- FAO [online].** Erosión de suelos en América Latina: Predicción de la erosión de suelos, Proyecto GLASOD SOTTER 1992 (citado marzo 2003). Habilitado de Internet: URL:<http://www.fao.org/docrep/T2351S05.htm#> El proyecto. GLASOD SOTTER.
- FEDERACIÓN NACIONAL DE CAFETEROS DE COLOMBIA (FEDECAFE).** 1975. Manual de conservación de suelos en laderas. Chinchina, Bogotá D. C, Colombia: CENICAFE ediciones. 267 p.
- GÁMEZ, W.** 1989. Evaluación de erodabilidad a través de pérdidas de suelo, mediante un mini-simulador de lluvia. Tesis de ingeniero agrónomo. Universidad Nacional Agraria, Managua. 37 p.
- GUIDO, J.** 1997. Evaluación de los factores de la Ecuación Universal de Pérdidas de Suelos en la microcuenca “D” de la cuenca Sur del Lago de Managua. Tesis de ingeniero agrónomo. Universidad Nacional Agraria, Managua. 65 p.
- GRIGGS, R., JONES, C. Y SRINIVASAN.** 2000. Sistemas de información Geográfica, conexión con los modelos de simulación y aplicación a las materias relacionadas con la erosión. Habilitado de Internet: URL: <http://www.uslesig.htm>.

- HUDSON, N.** 1997. Medición sobre el terreno de la erosión del suelo y de la escorrentía. FAO-Roma, Italia. 147 p.
- INTERCONSULT.** 2001. Estudio agroecológico y de drenaje pluvial de la subcuenca III de la cuenca Sur del Lago de Managua. 122 p.
- JONES, C., GRIGGS, R., WILLIAMS, J. Y SRINIVASAN.** 2000. Predicción de la erosión hídrica y eólica del suelo. Habilitado de Internet: URL: [http://www.fao-ch3/predicción de la erosión de suelos.htm](http://www.fao-ch3/predicción_de_la_erosión_de_suelos.htm).
- KIRKBY, M Y MORGAN, R.** 1984. Erosión de suelos. Editorial Limusa, S.A. México. 368 p.
- LEÓN, M.** 2002. Simulación del balance hídrico de la cuenca del río Cumes, utilizando la extensión SWAT de ArcView. Proyecto de grado previo al título de ingeniero forestal. Universidad José Cecilio del Valle. Comayagua, Honduras. 60 p.
- LÓPEZ, F.** 1998. Restauración hidrológico forestal de cuencas y control de la erosión. Segunda edición. Madrid, Tragsa, Ministerio de Medio Ambiente & Ed. Mundi-Prensa, España. 23, 24, 92 y 205 pp.
- LÓPEZ, H.** 1996. Guía tecnológica 7: cultivo de la piña. Instituto Nicaragüense de Tecnología Agropecuaria. Managua, Nicaragua. 20 p.
- MEDE, IRENA Y ECOT-PAF.** 1994. Plan De Acción Ambiental. Managua, Nicaragua. El amanecer. Pág. 51.
- MENDOZA, R.** 1994. Evaluación de prácticas agro culturales de conservación de suelos sobre la erosión y la producción de granos básicos. Tesis de ingeniero agrónomo. Universidad Nacional Agraria. Managua, Nicaragua.

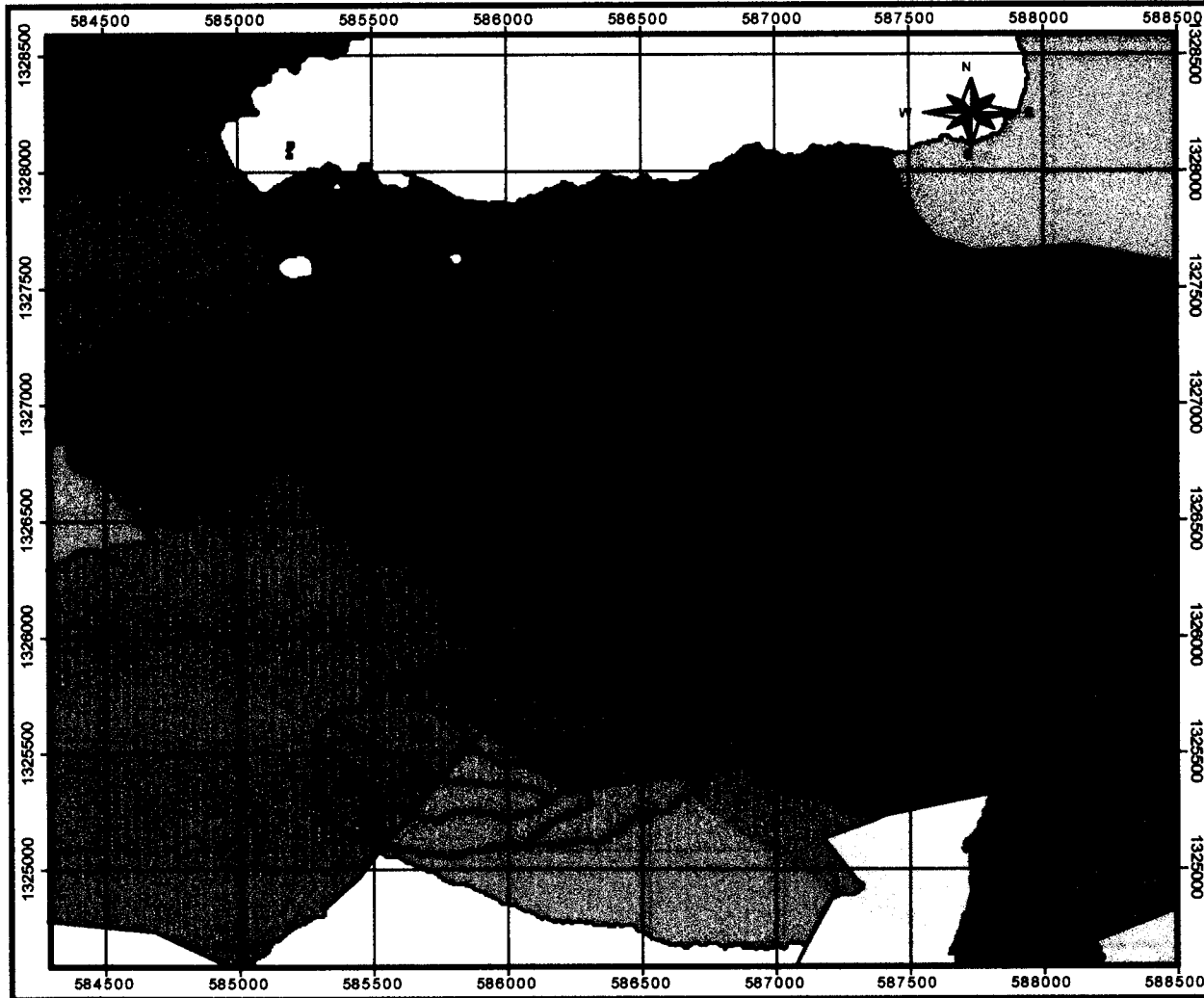
- MIGUEL, B. V.** 1991. Validación del comportamiento de la ecuación de pérdidas de suelos de Morgan en zona de alta montaña en la subcuenca Khara Jalanta de Misicuni. Habilitado de Internet: URL: [http://www. Zeon. Com.tw](http://www.Zeon.Com.tw).
- MONTES, M., DOMÍNGUEZ, M. Y VENTURA, E.** 1997. Utilización de un SIG en la estimación del riesgo de erosión hídrica en la cuenca Santa Catarina, Querétaro. Maestría en hidráulica. Facultad de ingeniería-División del postgrado, Universidad Autónoma de Querétaro, México.
- MORGAN, R.** 1997. Erosión y conservación de suelos. Silsoe College, Cranfield University. Ediciones Mundi-Prensa. España. 339 p.
- MORALES, J.** 1996. Conservación de suelos y agua. Volumen I, II y III. Universidad Nacional Agraria. Managua, Nicaragua. 263 p.
- MURILLO, M.** 1990. La erodabilidad de cuatro series de suelos determinado por el mini-simulador de lluvia y el nomograma de Wischmeier. Tesis de ingeniero agrónomo. Universidad Nacional Agraria, Managua. 29 p.
- NÚÑEZ, J.** 1985. Fundamentos de edafología. Segunda edición. Editorial Universidad Estatal a Distancia. San José, Costa Rica. p 167.
- OYUELA, D.** 1999, Manual Didáctico, Capacitación de Técnicos de UMAS. Siguatepeque, Comayagua, Guatemala.
- ORTIZ, R.** 1999. El cultivo del banano. Editorial Universal Estatal a Distancia. San José, Costa Rica. p: 17, 34, 96, 97.
- REYES, B.** 2001. Estimación de pérdidas de suelo en la microcuenca Wibuse-Jícaro San Dionisio, Departamento de Matagalpa, utilizando cuatro modelos de predicción. Tesis de ingeniero agrónomo. Universidad Nacional Agraria, Managua. 57 p.

- RIVERA, S.** 2002. Estudio de la erosión en Honduras y uso del programa SWAT. MIS-CIAT, EAP-El Zamorano. s. p.
- SOSA, A.** 2000. Análisis del balance hídrico de 4 coberturas del suelo en laderas de Yorito, Yoro, Honduras. Tesis de grado de ingeniería forestal. ESNACIFOR, Siguatepeque, Comayagua. 38 p.
- SOMARRIBA, C.** 1998. Granos básicos: texto básico. Universidad Nacional Agraria. Managua, Nicaragua. p: 8, 14, 15, 106, 108, 109, 121.
- SOMARRIBA, M.** 1997. Soil conservation as affected by land use and land tenure, El Pital Watershed, Nicaragua. Thesis Master of Science. Texas A & M University. p. 30.
- SOMARRIBA, M., THUROW, T Y PURVIS, A.** 1999. Soil erosion and conservation as affected by land use and land tenure, El Pital watershed, Nicaragua. Technical bulletin number 99-3. Department of Rangeland Ecology and Management Texas A&M University.
- TORRES, A.** 2000. SWAT (Soil and Water Assessment Tool). ESNACIFOR-Zamorano Honduras. s.i. s.p.
- VEIHE, A., REY, J., QUINTON, N., STRAUSS, P., SANCHO, M Y Somarriba, M.** 2001. Modeling of event-based soil in Costa Rica, Nicaragua and Mexico: evaluation of the EUROSEM model. Department of Geography and International Development Studies, Roskilde University, Hus 19.2, PO Box 260, 4000 Roskilde, Denmark. Catena 44 (2001) 187-203.
- VELÁSQUEZ, J., GUTIÉRREZ, J. Y RODRÍGUEZ, I.** 1998. Diagnóstico de suelos de la Subcuenca III Sur del Lago de Managua. Tesis de ingeniero agrónomo. Universidad Nacional Agraria, Managua.

# ANEXOS



Anexo 1. Subcuenca III y las microcuencas en que se divide



**MAPA DE LA  
SUBCUENCA III  
Y SUS MICROCUENCAS**

**Leyenda**

**Municipios**

	AGUA
	Catarina
	Ciudad Sandino
	El Crucero
	La Concepcion
	Managua
	Masatepe
	Masaya
	Mateare
	Nandasmó
	Nindirí
	Niquinohomo
	San Francisco Libre
	San Juan de Oriente
	San Rafael del Sur
	Ticuantepe
	Tipitapa
	Tisma
	Villa Carlos Fonseca
	Subcuenca III

**Área total de la subcuenca III  
17,866 Hectáreas**

**Escala  
1:200000**

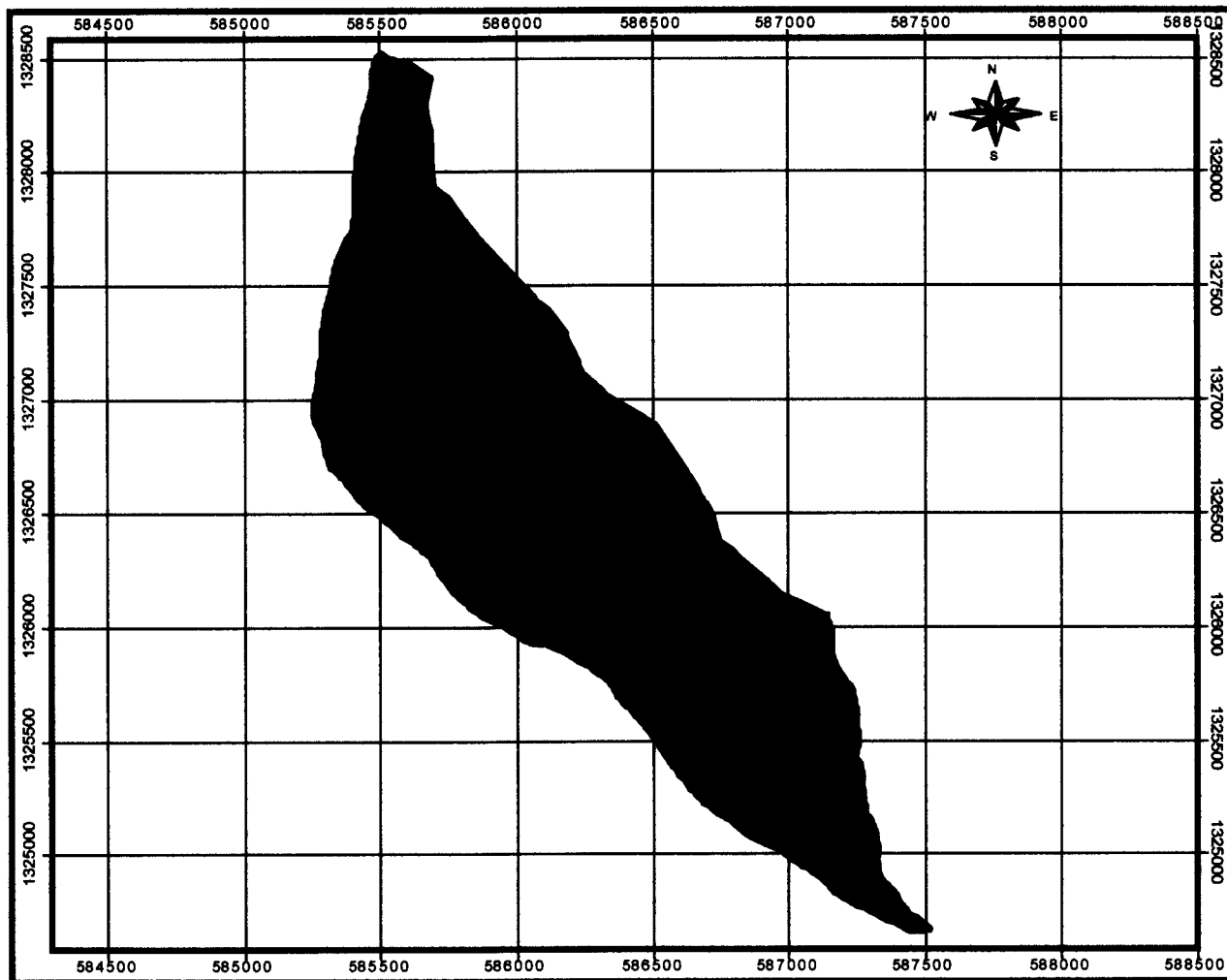
**Proyección:  
NAD 27, Zona 16**

**Esferoide:  
Clarke 1866**

**Cálculo y Diseño:  
Br. Mario César Gutiérrez Alarcón**

**Universidad Nacional Agraria  
Managua, Nicaragua  
Agosto 2003**

Anexo 2. Suelo de la microcuenca siete



**MAPA  
DE SUELO**

Microcuenca siete, Subcuenca III  
de la Cuenca Sur del  
Lago de Managua

**Leyenda**

Series	Área (Has)
Casa Blanca	15.00
San Ignacio	251.81

**Área total  
266.81 Hectáreas**

**Escala  
1:24000**

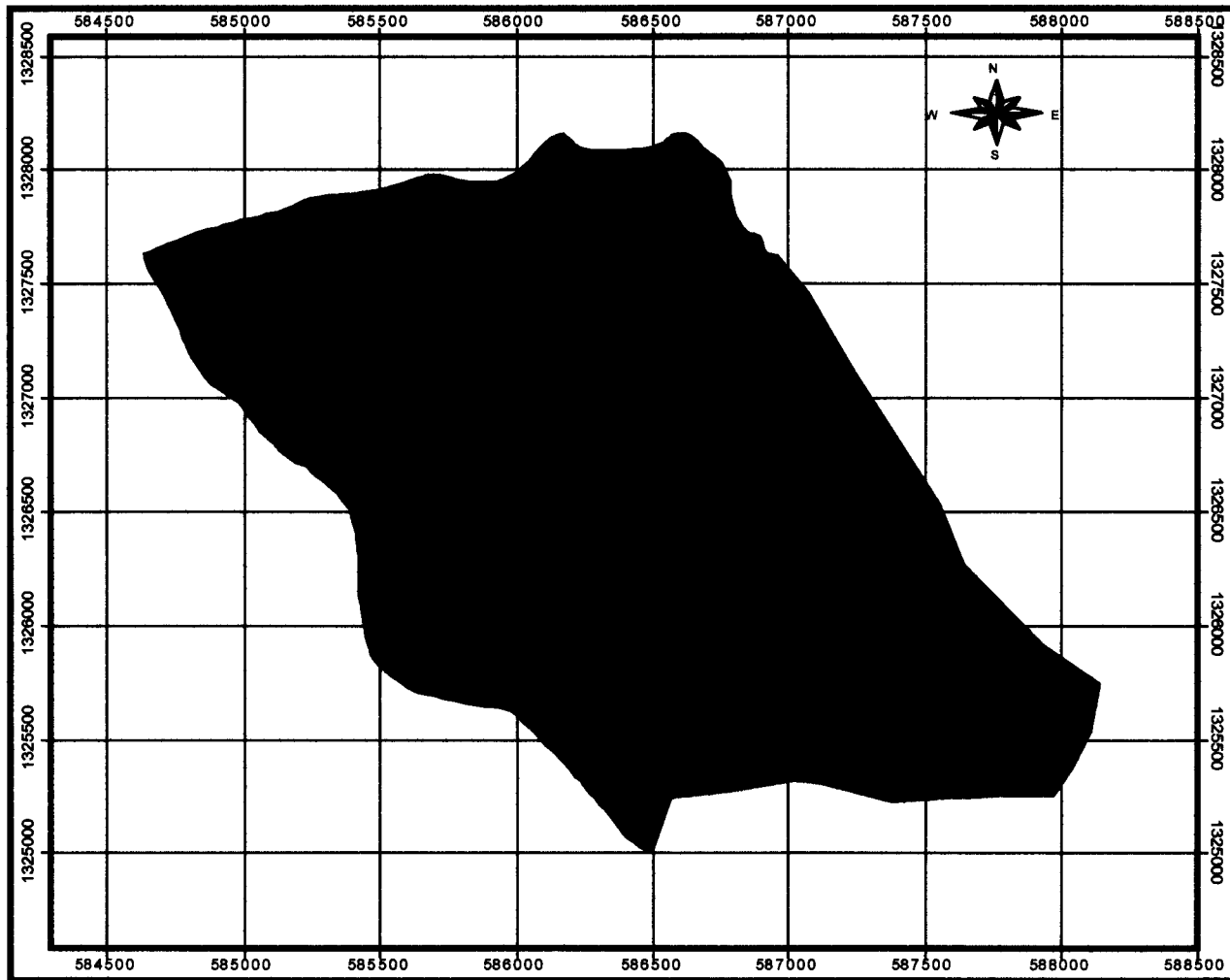
**Proyección:  
NAD 27, Zona 16**

**Esferoide:  
Clarke 1866**

**Cálculo y Diseño:  
Br. Mario César Gutiérrez Alarcón**

**Universidad Nacional Agraria  
Managua, Nicaragua  
Agosto 2003**

Anexo 3. Suelo de la microcuenca trece



**MAPA DE SUELO**

Microcuenca trece, Subcuenca III de la Cuenca Sur del Lago de Managua

**Leyenda**

Serie	Área (Has)
El Castillo	143.62

**Área total**  
143.62 Hectáreas

**Escala**  
1:12000

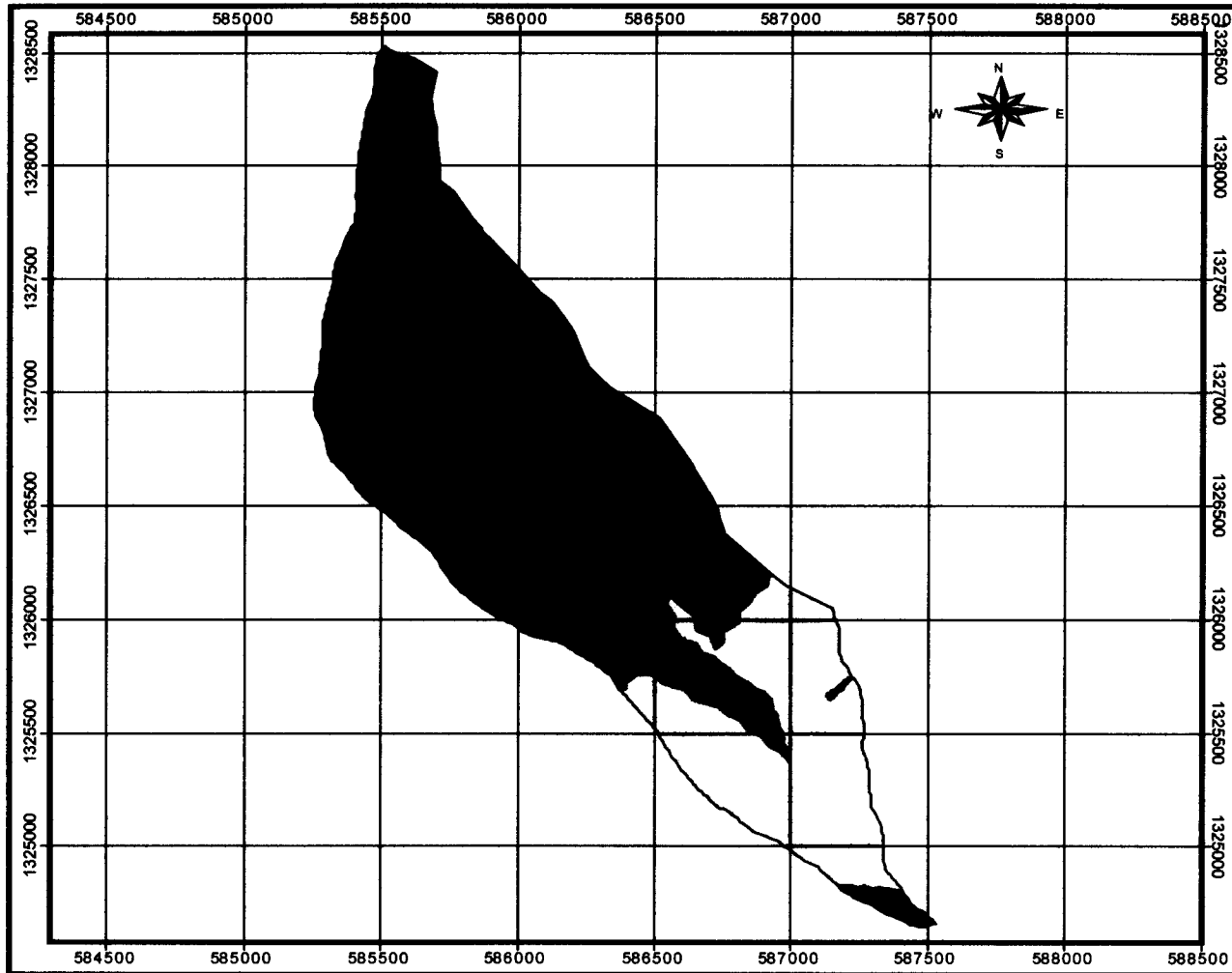
**Proyección:**  
NAD 27, Zona 16

**Esferoide:**  
Clarke 1866

**Cálculo y Diseño:**  
Br. Mario César Gutiérrez Alarcón

Universidad Nacional Agraria  
Managua, Nicaragua  
Agosto 2003

Anexo 4. Uso actual de la microcuenca siete



**MAPA DE  
USO ACTUAL**

Microcuenca siete, Subcuenca III  
de la Cuenca Sur del  
Lago de Managua

**Leyenda**

Uso actual	Área (Has)
Bosque de galería	9.86
Chaguite	5.23
Frijol	18.50
Frijol + piña	44.94
Frijol+maiz asociado	12.23
Frijol+piña+maiz	4.56
Huerto familiar	84.06
Piña	61.00
Piña+maiz	8.85
Tacotal	2.52

**Área total  
266.81 Hectáreas**

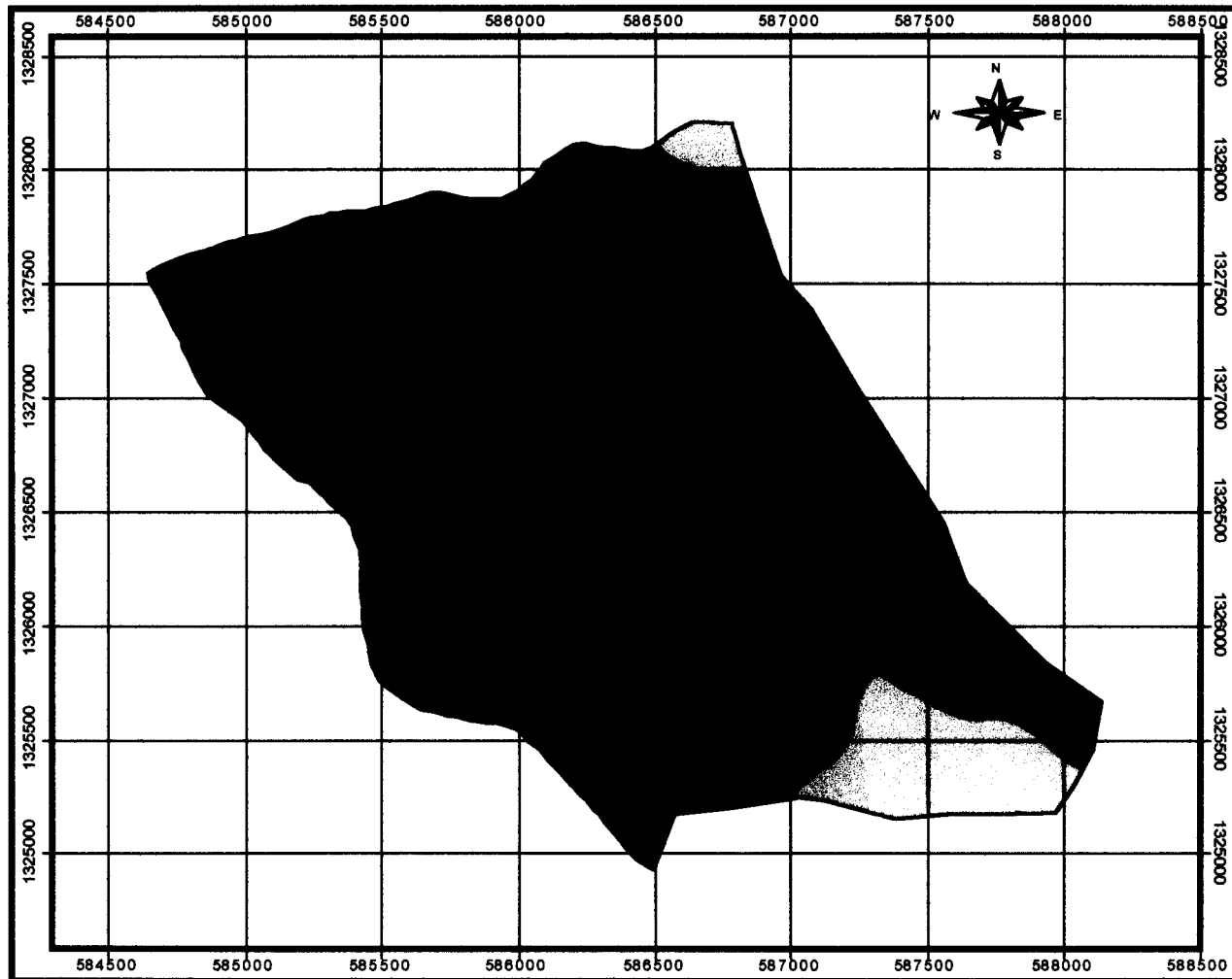
**Escala  
1:24000**

**Proyección:  
NAD 27, Zona 16**

**Esferoide:  
Clarke 1866**

**Cálculo y Diseño:  
Br. Mario César Gutiérrez Alarcón  
Universidad Nacional Agraria  
Managua, Nicaragua  
Agosto 2003**




Anexo 5. Uso actual de la microcuenca trece



**MAPA DE  
USO ACTUAL**

Microcuenca trece, Subcuenca III  
de la Cuenca Sur del  
Lago de Managua

**Leyenda**

Uso actual	Área (Has)
	Bosque alto abierto+Café bajo sombra 8.46
	Bosque alto cerrado+Café bajo sombra 124.84
	Bosque bajo abierto+Café bajo sombra 10.32

**Área total  
143.62 Hectáreas**

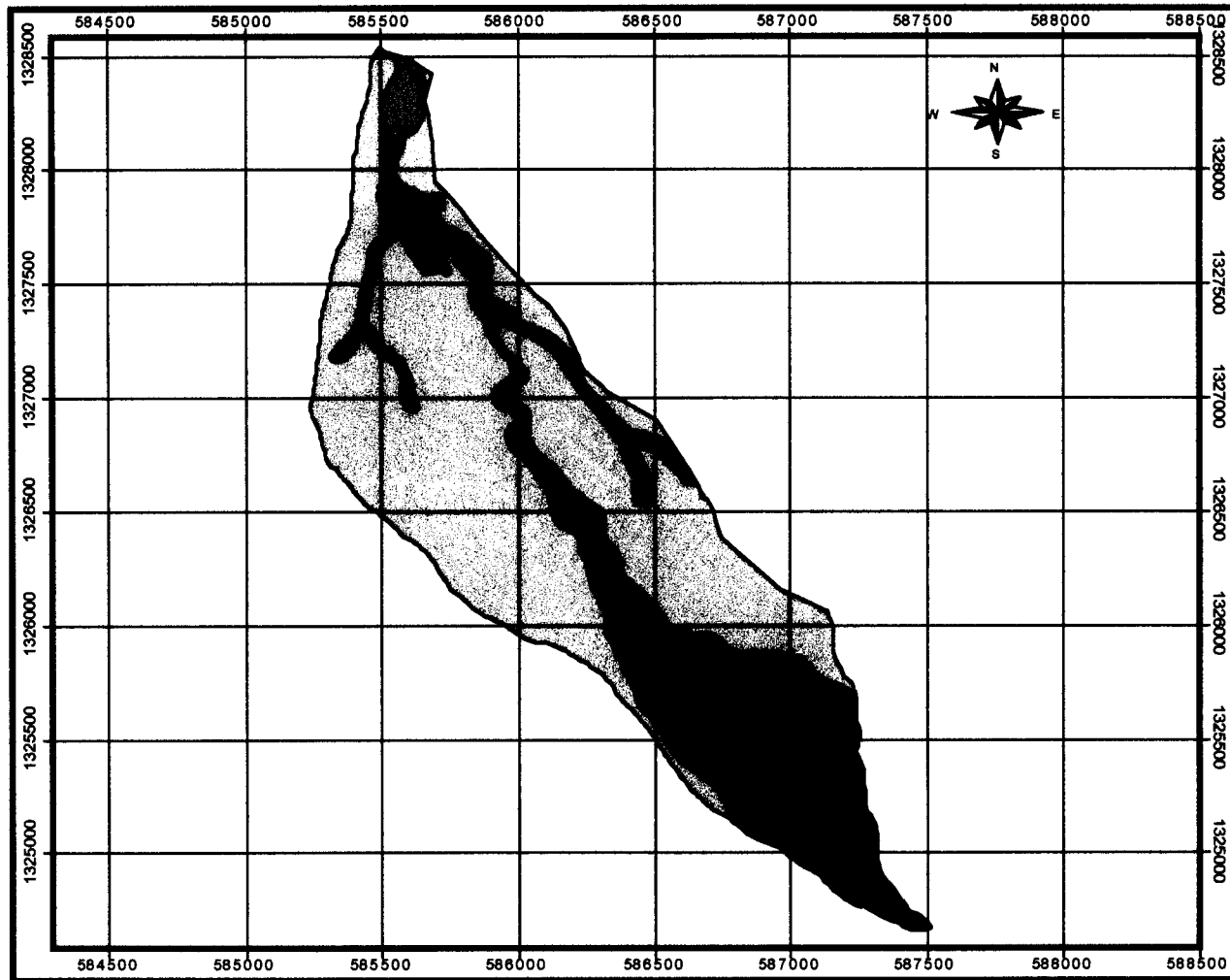
**Escala  
1:12000**

**Proyección:  
NAD 27, Zona 16**

**Esferoide:  
Clarke 1866**

**Cálculo y Diseño:  
Br. Mario César Gutiérrez Alarcón  
Universidad Nacional Agraria  
Managua, Nicaragua  
Ago 2003**





Anexo 6. Uso potencial de la microcuenca siete



**MAPA DE  
USO POTENCIAL**

Microcuenca siete, Subcuenca III  
de la Cuenca Sur del  
Lago de Managua

**Leyenda**

Uso potencial	Área (Has)
 Bosques latifoliaes secos de producción	35.64
 Café bajo sombra y/o bosque	61.08
 Cultivos anuales de uso amplio con manejo agroforestal, en clima fresco	166.05
 Cultivos perennes en clima cálido o caliente y/o frutas	4.00

**Área total  
266.81 Hectáreas**

**Escala**

**1:24000**

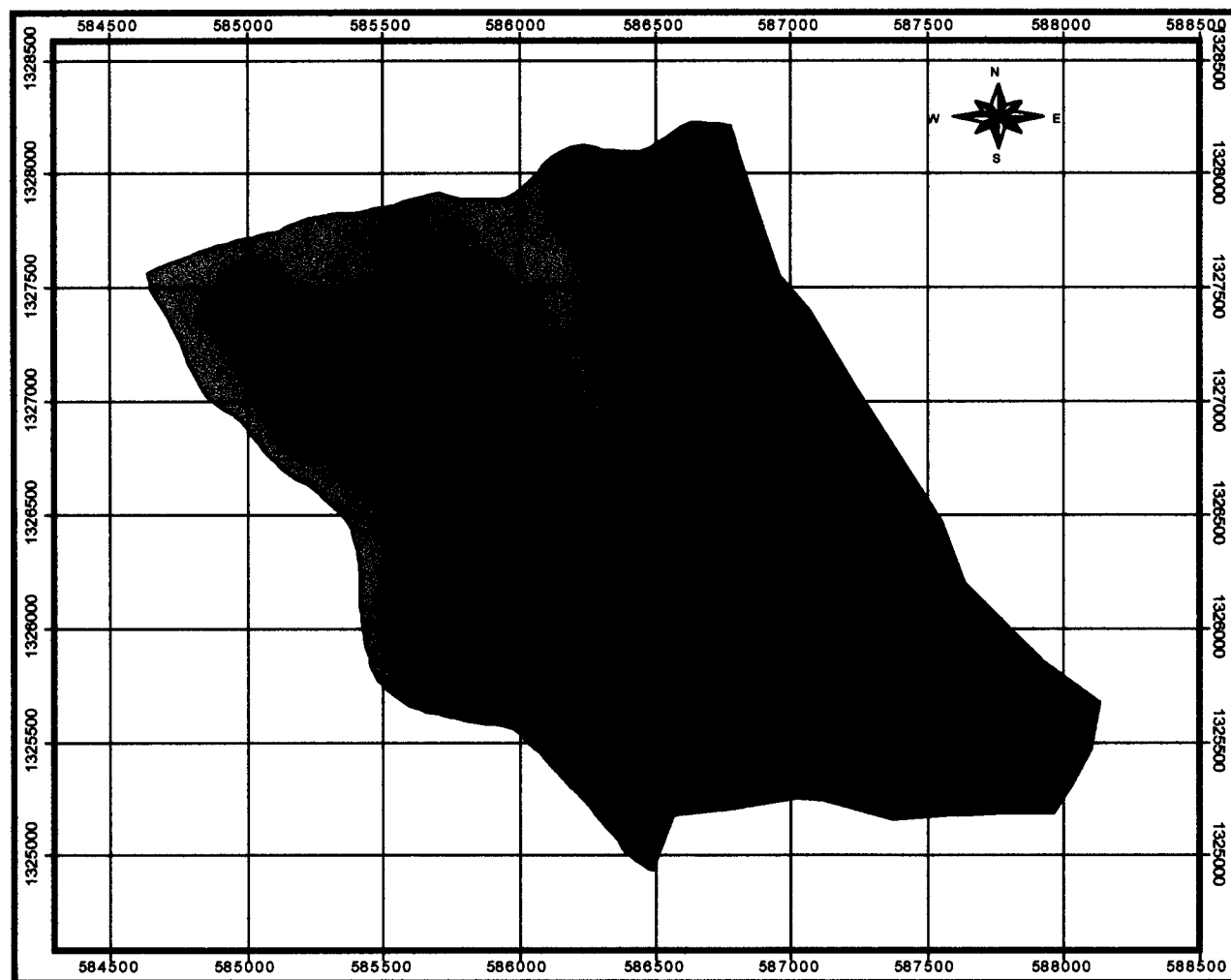
**Proyección:  
NAD 27, Zona 16**

**Esferoide:  
Clarke 1866**

**Cálculo y Diseño:  
Br. Mario César Gutiérrez Alarcón**

**Universidad Nacional Agraria  
Managua, Nicaragua  
Agosto 2003**




## Anexo 7. Uso potencial de la microcuenca trece



### MAPA DE USO POTENCIAL

Microcuenca trece, Subcuenca III  
de la Cuenca Sur del  
Lago de Managua

#### Leyenda

Uso potencial	Área (Has)
 Bosque de conservación	126.73
 Café bajo sombra y/o bosque	1.45
 Cultivos perennes en clima fresco o templado y/o café	15.44

Área total  
**143.62 Hectáreas**

#### Escala

**1:12000**

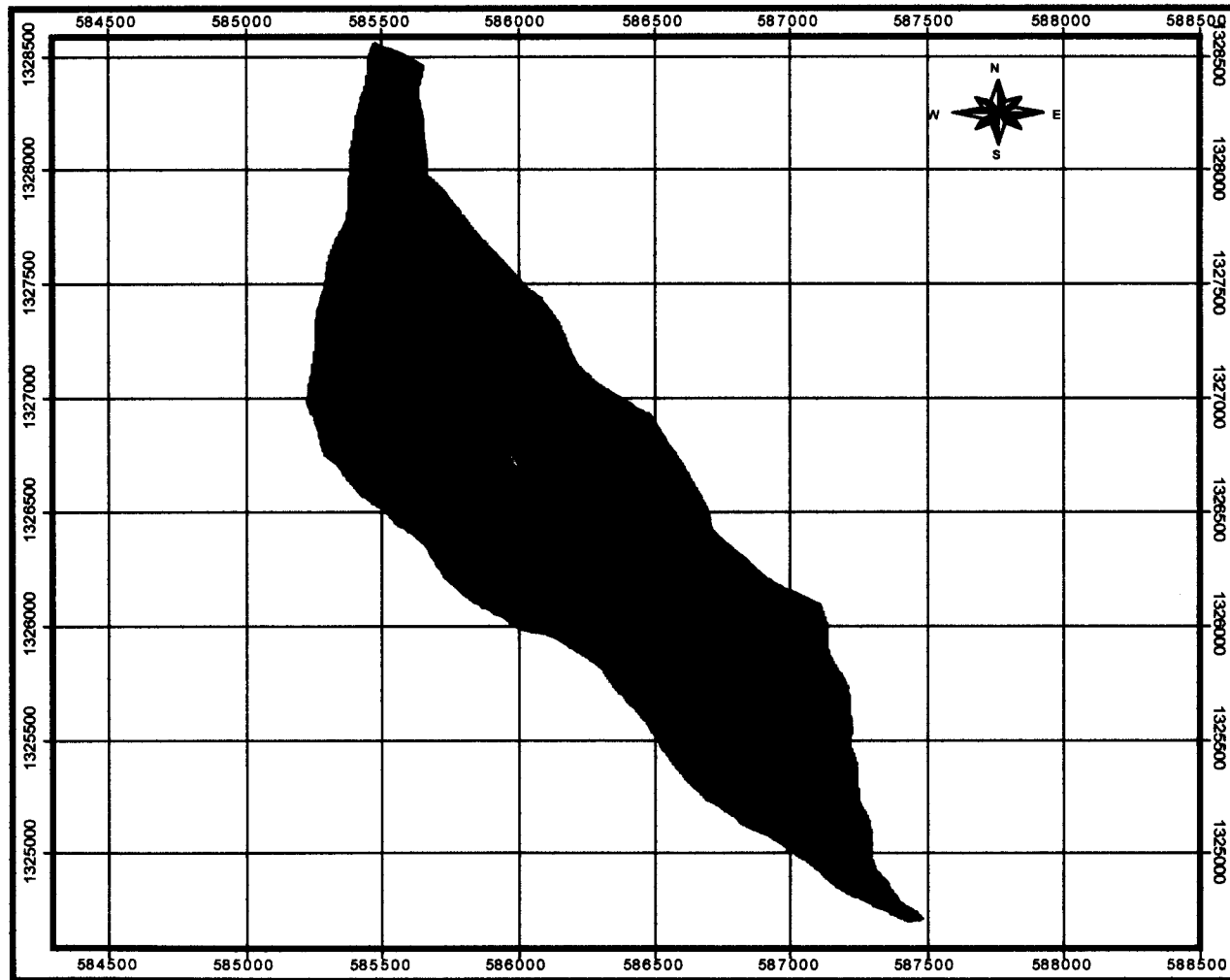
Proyección:  
NAD 27, Zona 16

Esferoide:  
Clarke 1866

Cálculo y Diseño:  
Br. Mario César Gutiérrez Alarcón

Universidad Nacional Agraria  
Managua, Nicaragua  
Agosto 2003

Anexo 8. Modelo de elevación digital de la microcuenca siete



**MAPA DE ELEVACIÓN DIGITAL**

**Microcuenca siete, Subcuenca III de la Cuenca Sur del Lago de Managua**

**Leyenda**

Rango de elevación

[Pattern]	300 - 325
[Pattern]	325 - 350
[Pattern]	350 - 375
[Pattern]	375 - 400
[Pattern]	400 - 425
[Pattern]	425 - 450
[Pattern]	450 - 475
[Pattern]	475 - 500

**Área total**  
**266.81 Hectáreas**

**Escala**  
**1:24000**

**Proyección:**  
**NAD 27, Zona 16**

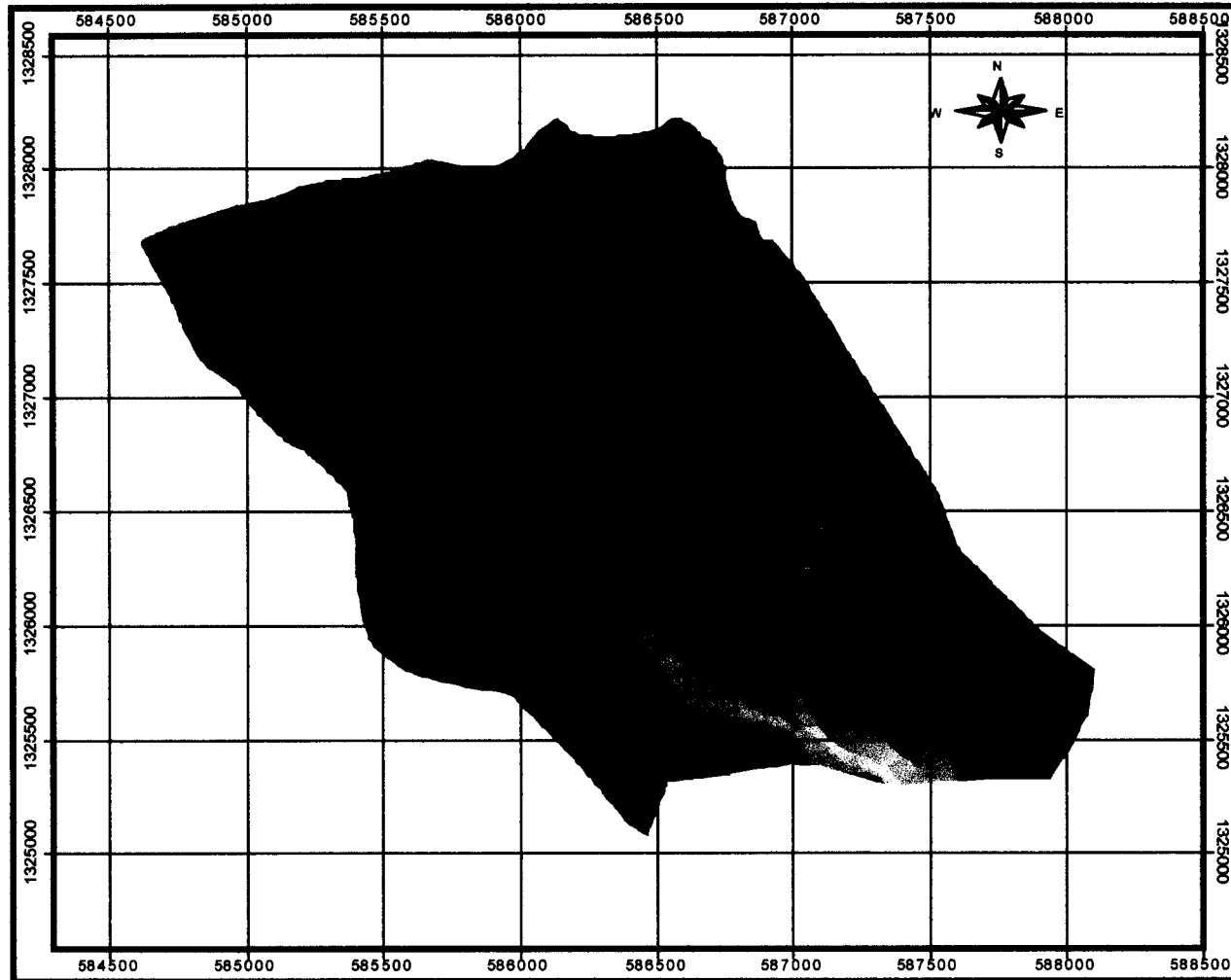
**Esferoide:**  
**Clarke 1866**

**Cálculo y Diseño:**  
**Br. Mario César Gutiérrez Alarcón**

**Universidad Nacional Agraria**  
**Managua, Nicaragua**  
**Agosto 2003**



Anexo 9. Modelo de elevación digital de la microcuenca trece



**MAPA DE ELEVACIÓN DIGITAL**

**Microcuenca trece, Subcuenca III  
de la Cuenca Sur del  
Lago de Managua**

**Leyenda**

**Rango de elevación**

	674 - 704
	704 - 735
	735 - 766
	766 - 797
	797 - 828
	828 - 858
	858 - 889
	889 - 920

**Área total  
143.62 Hectáreas**

**Escala  
1:12000**

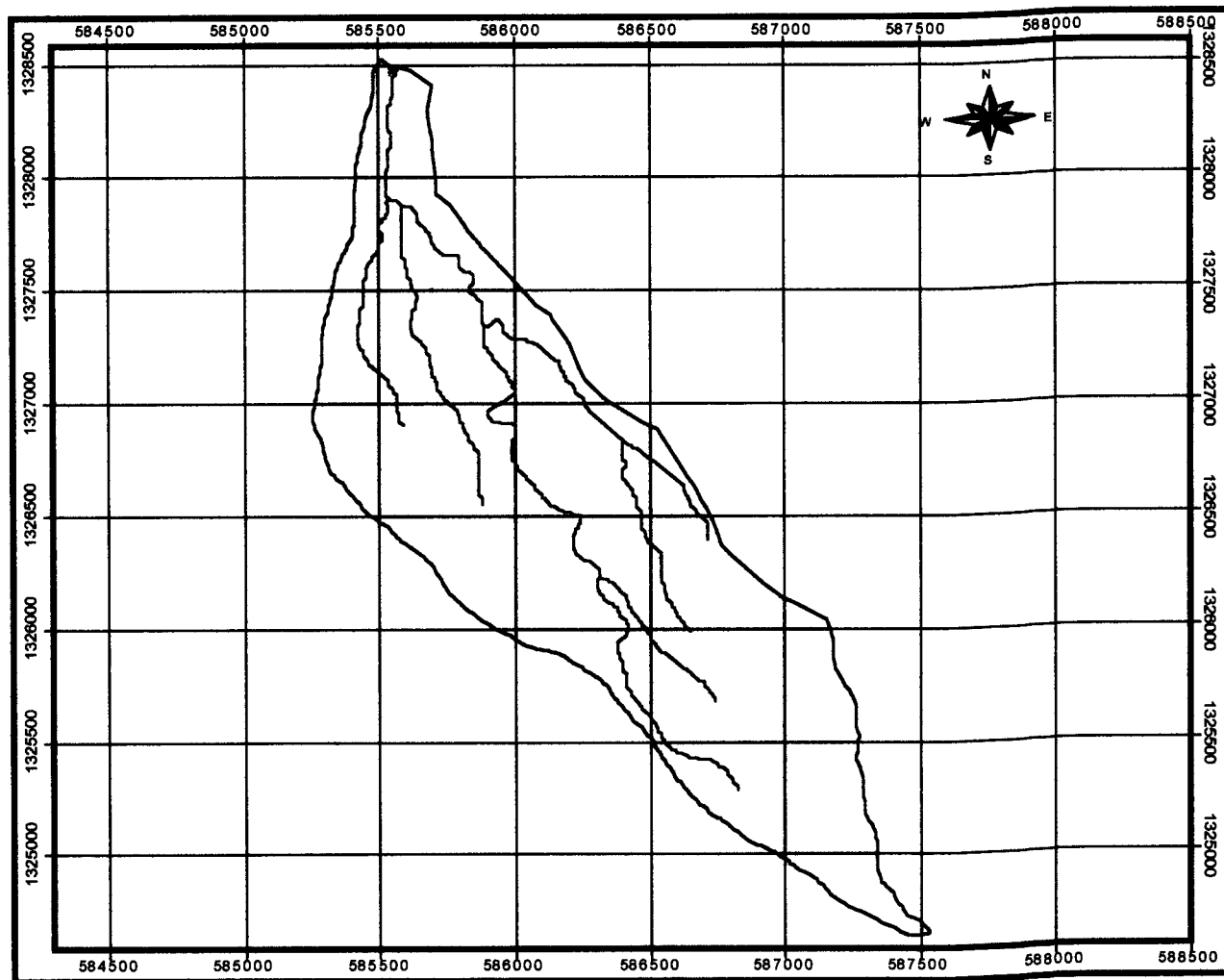
**Proyección:  
NAD 27, Zona 16**

**Esferoide:  
Clarke 1866**

**Cálculo y Diseño:  
Br. Mario César Gutiérrez Alarcón**

**Universidad Nacional Agraria  
Managua, Nicaragua  
Agosto 2003**

Anexo 10. Red hídrica y punto de salida de la microcuenca siete



**MAPA DE LA  
RED HÍDRICA Y  
PUNTO DE SALIDA**

Microcuenca siete, Subcuenca III  
de la Cuenca Sur del  
Lago de Managua

**Leyenda**

- # Salida
- ∩ Drenaje
- Microcuenca

**Área total**  
266.81 Hectáreas

**Escala**  
1:24000

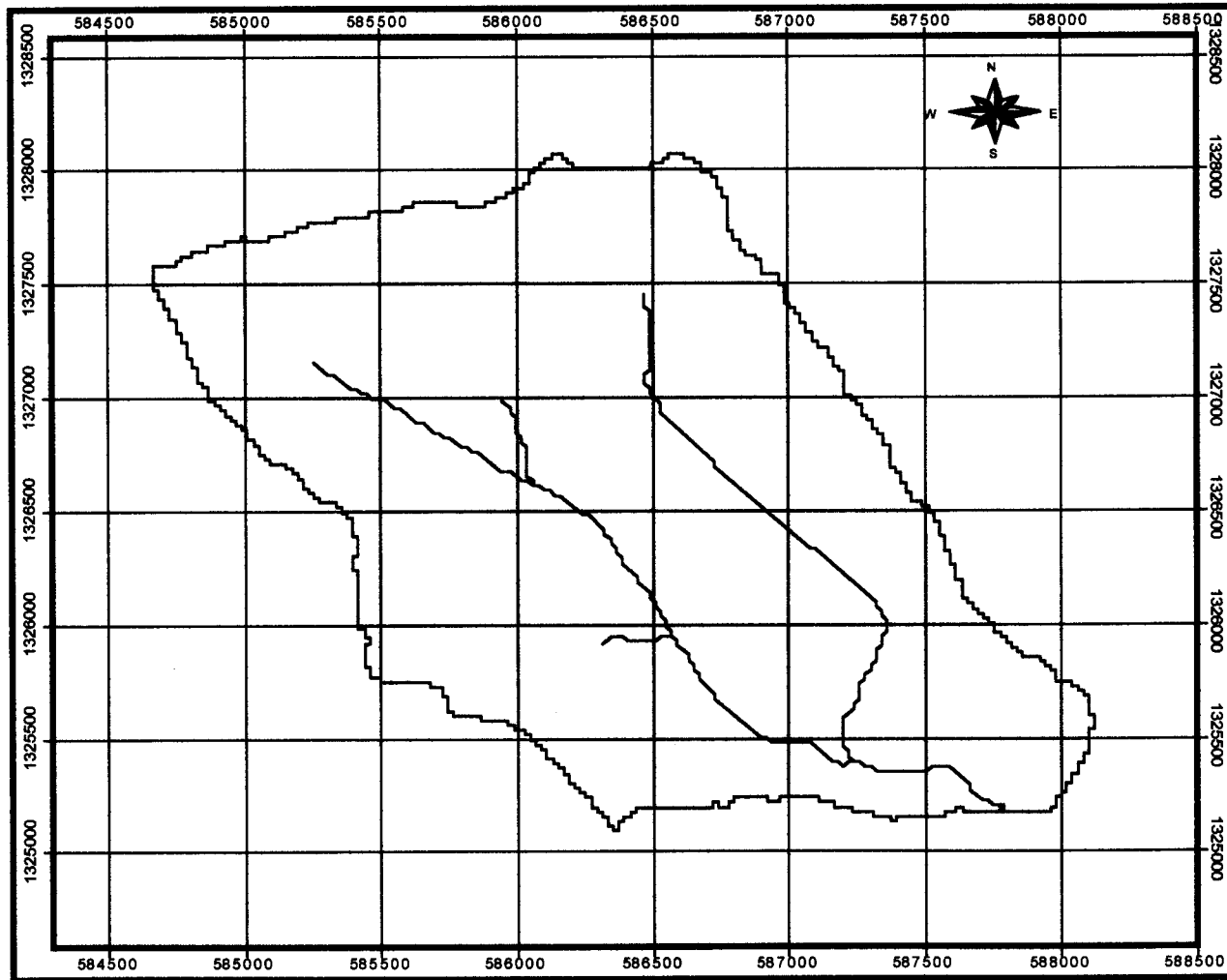
**Proyección:**  
NAD 27, Zona 16

**Esferoide:**  
Clarke 1866

**Cálculo y Diseño:**  
Br. Mario César Gutiérrez Alarcón

Universidad Nacional Agraria  
Managua, Nicaragua  
Agosto 2003

Anexo 11. Red hídrica y punto de salida de la microcuenca trece



**MAPA DE LA  
RED HÍDRICA Y  
PUNTO DE SALIDA**

Microcuenca trece, Subcuenca III  
de la Cuenca Sur del  
Lago de Managua

**Leyenda**

- # Salida
- ∨ Drenaje
- Microcuenca

**Área total**  
143.62 Hectáreas

**Escala**  
1:12000

**Proyección:**  
NAD 27, Zona 16

**Eferoide:**  
Clarke 1866

**Cálculo y Diseño:**  
Br. Mario César Gutiérrez Alarcón

Universidad Nacional Agraria  
Managua, Nicaragua  
Agosto 2003

## Anexo 12. Clasificación hidrológica de los suelos

Tipo de suelo	Descripción
<b>A</b>	Es el que ofrece menor escorrentía. Incluye los suelos que presentan mayor permeabilidad, incluso cuando están saturados. Comprenden los terrenos profundos, sueltos, con predominio de arena o grava y con muy poco limo y arcilla (Arenosos, arenosos-limosos, etc.). Poseen una conductividad hidráulica saturada de 110 mm/h.
<b>B</b>	Incluye los suelos de moderada permeabilidad cuando están saturados, comprendiendo los terrenos arenosos menos profundos que los del Grupo A, aquellos otros de textura franco-arenosa de mediana profundidad y los francos profundos. Con una conductividad hidráulica saturada entre 11 y 110 mm/h.
<b>C</b>	Incluye los suelos que ofrecen poca permeabilidad cuando están saturados, por presentar un estrato impermeable que dificulta la infiltración o porque, en conjunto, su textura es franco-arcillosa o arcillosa. La conductividad hidráulica saturada está entre 1.10 y 11 mm/h.
<b>D</b>	Es el que ofrece mayor escorrentía. Incluye los suelos que presentan gran impermeabilidad, tales como los terrenos muy arcillosos profundos con alto grado de tumefacción, los terrenos que presentan en la superficie o cerca de la misma una capa de arcilla muy impermeable y aquellos otros con subsuelo muy impermeable próximo a la superficie. Conductividad hidráulica de 1.10 mm/h.

Fuente: López Cadenas de Llano (1994) y Torres (2000).

## Anexo 13. Porcentajes de Arena, Limo y Arcilla del primer horizonte (A)

Microcuencia	Serie de suelo	Textura	Porcentaje de Arena, Limo y Arcilla		
			Arena	Limo	Arcilla
7	San Ignacio	Franco arenosa	72.5	22.5	5
	Casa Blanca	Franco arenosa	60	27.5	12.5
13	El Castillo	Franco arcillosa	72.5	22.5	5

Fuente: INTERCONSULT (2002).

## Anexo 14. Porcentajes de Arena, Limo y Arcilla del segundo horizonte (B)

Microcuencia	Serie de suelo	Textura	Porcentaje de Arena, Limo y Arcilla		
			Arena	Limo	Arcilla
7	San Ignacio	Franco arenosa	72.5	22.5	5
	Casa Blanca	Franco arenosa	65	22.5	12.5
13	El Castillo	Franco arcillosa	87.5	10	2.5

Anexo 15. Porcentajes de Arena, Limo y Arcilla del tercer horizonte (C)

Microcuenca	Serie de suelo	Textura	Porcentaje de Arena, Limo y Arcilla		
			Arena	Limo	Arcilla
7	San Ignacio	Franco arenosa	72.5	22.5	5
	Casa Blanca	Franco arenosa	Talpetate fracturado		
13	El Castillo	Franco arcillosa	82.5	15	2.5

Fuente: INTERCONSULT (2002).

Anexo 16. Valores para determinar la erodabilidad del suelo del primer horizonte

Microcuenca	Serie de suelos	Limo + Arena muy fina %	Arcilla %	Materia orgánica %	Estructura	Permeabilidad
7	San Ignacio	22.5	5	0.89	2	2
	Casa Blanca	27.5	12.5	6.53	2	2
13	El Castillo	22.5	5	4.7	2	4

Fuente: INTERCONSULT (2002) y Torres (2000).

Anexo 17. Valores para determinar la erodabilidad del suelo del segundo horizonte

Microcuenca	Serie de suelos	Limo + Arena muy fina %	Arcilla %	Materia orgánica %	Estructura	Permeabilidad
7	San Ignacio	22.5	5	1.32	2	2
	Casa Blanca	22.5	12.5	1.06	2	2
13	El Castillo	10	2.5	1.42	2	4

Fuente: INTERCONSULT (2002) y Torres (2000).

Anexo 18. Valores para determinar la erodabilidad del suelo del tercer horizonte

Microcuenca	Serie de suelos	Limo + Arena muy fina %	Arcilla %	Materia orgánica %	Estructura	Permeabilidad
7	San Ignacio	22.5	5	1.44	4	2
	Casa Blanca	Talpetate fracturado				
13	El Castillo	15	2.5	0.32	4	4

Fuente: INTERCONSULT (2002) y Torres (2000).

Anexo 19. Valores del código USDA para la estructura del suelo

<b>Estructura</b>			
<b>Grado</b>	<b>Forma</b>	<b>Tamaño</b>	<b>Código</b>
Sin estructura		Muy fina	4
Débil	Granular	Media	3
	Bloques angulares	Media	3
Moderada	Granular	Muy fina	1
		Fina	2
		Media	2
	Bloques subangulares	Muy fina	2
		Media	2
	Bloques angulares		2
Fuerte	Granular		2
	Bloques angulares		2

Anexo 20. Valores del código USDA para la permeabilidad del perfil

<b>Permeabilidad</b>		
<b>Textura</b>	<b>Clase de permeabilidad</b>	<b>Código</b>
Franco arenosa	Medianamente rápida	2
Franca	Moderada	3
Franco limosa		
Franco arcillo limosa		
Franco arcillo arenosa		
Franco arcillosa	Moderadamente lenta	4
Arcillosa	Lenta	5

Anexo 21. Determinación de la erodabilidad de cada horizonte del suelo

1. Determinación de la erodabilidad del primer horizonte

⇒ Serie San Ignacio

$$M = (22.5) (100 - 5) = 2,137.50$$

$$K = 1.2928 [(2.1 (2,137.50)^{1.14} (10)^{-4} (12-0.89) + 3.25 (2-2) + 2.5 (2-3)) / 100]$$

$$K = 0.156$$

⇒ Serie Casa Blanca

$$M = (27.5) (100 - 12.5) = 2,406.25$$

$$K = 1.2928 [(2.1 (2,406.25)^{1.14} (10)^{-4} (12-6.53) + 3.25 (2-2) + 2.5 (2-3)) / 100]$$

$$K = 0.074$$

⇒ Serie El Castillo

$$M = (22.5) (100 - 5) = 2,137.50$$

$$K = 1.2928 [(2.1 (2,137.50)^{1.14} (10)^{-4} (12-4.7) + 3.25 (2-2) + 2.5 (4-3)) / 100]$$

$$K = 0.156$$

## 2. Determinación de la erodabilidad del segundo horizonte

⇒ Serie San Ignacio

$$M = (22.5) (100 - 5) = 2,137.50$$

$$K = 1.2928 [(2.1 (2,137.50)^{1.14} (10)^{-4} (12-1.32) + 3.25 (2-2) + 2.5 (2-3)) / 100]$$

$$K = 0.149$$

⇒ Serie Casa Blanca

$$M = (22.5) (100 - 12.5) = 1,968.75$$

$$K = 1.2928 [(2.1 (1,968.75)^{1.14} (10)^{-4} (12-1.06) + 3.25 (2-2) + 2.5 (2-3)) / 100]$$

$$K = 0.137$$

⇒ Serie El Castillo

$$M = (10) (100 - 2.5) = 975.00$$

$$K = 1.2928 [(2.1 (975.00)^{1.14} (10)^{-4} (12-1.42) + 3.25 (2-2) + 2.5 (4-3)) / 100]$$

$$K = 0.106$$

### 3. Determinación de la erodabilidad del tercer horizonte

⇒ Serie San Ignacio

$$M = (22.5) (100 - 5) = 2,137.50$$

$$K = 1.2928 [(2.1 (2,137.50)^{1.14} (10)^{-4} (12-1.44) + 3.25 (4-2) + 2.5 (2-3)) / 100]$$

$$K = 0.231$$



⇒ Serie El Castillo

$$M = (15) (100 - 2.5) = 1,462.50$$

$$K = 1.2928 [(2.1 (1,462.50)^{1.14} (10)^{-4} (12-0.32) + 3.25 (4-2) + 2.5 (4-3)) / 100]$$

$$K = 0.245$$

**Anexo 22. Intensidades de precipitación para cada duración en la microcuenca 7**

Año	Duración en minutos	
	30	360
1986	44.8	3.0
1987	68.7	15.3
1988	101.6	18.0
1989	111.2	8.1
1990	92.0	4.8
1991	69.4	14.4
1992	65.2	0.0
1993	79.8	16.6
1994	70.4	3.6
1995	108.0	10.6
1996	64.2	13.8
1997	83.6	8.0
1998	58.6	4.4
1999	95.0	16.7
2000	87.8	15.5
2001	73.8	5.3
2002	46.8	9.0

Anexo 23. Ordenamiento de las intensidades de precipitación en la microcuenca 7

Años	Duración en minutos		m
	30	360	
1986	111.2	18.0	1
1987	108.0	16.7	2
1988	101.6	16.6	3
1989	95.0	15.5	4
1990	92.0	15.3	5
1991	87.8	14.4	6
1992	83.6	13.8	7
1993	79.8	10.6	8
1994	73.8	9.0	9
1995	70.4	8.1	10
1996	69.4	8.0	11
1997	68.7	5.3	12
1998	65.2	4.8	13
1999	64.2	4.4	14
2000	58.6	3.6	15
2001	46.8	3.0	16
2002	44.8	0.0	17

Anexo 24. Cálculo del período de retorno y probabilidades de ocurrencia y no ocurrencia en la microcuenca 7

Duración en minutos		m	(n+1)/m	m/(n+1)	1-[m/(n+1)]
30	360				
111.2	18.0	1	18.000	0.056	0.944
108.0	16.7	2	9.000	0.111	0.889
101.6	16.6	3	6.000	0.167	0.833
95.0	15.5	4	4.500	0.222	0.778
92.0	15.3	5	3.600	0.278	0.722
87.8	14.4	6	3.000	0.333	0.667
83.6	13.8	7	2.571	0.389	0.611
79.8	10.6	8	2.250	0.444	0.556
73.8	9.0	9	2.000	0.500	0.500
70.4	8.1	10	1.800	0.556	0.444
69.4	8.0	11	1.636	0.611	0.389
68.7	5.3	12	1.500	0.667	0.333
65.2	4.8	13	1.385	0.722	0.278
64.2	4.4	14	1.286	0.778	0.222
58.6	3.6	15	1.200	0.833	0.167
46.8	3.0	16	1.125	0.889	0.111
44.8	0.0	17	1.059	0.944	0.056

Anexo 25. Determinación de los parámetros de la distribución teórica en la microfrecuencia 7

Parámetros	Duración en minutos	
	30	360
$\Sigma$	1,320.900	167.100
Media	77.700	9.829
Sx	19.121	5.549
$\alpha$	0.067	0.231
$\beta$	69.084	7.329

Anexo 26. Determinación de la distribución teórica en la microfrecuencia 7

Duración en minutos	
30	360
0.942	0.919
0.929	0.892
0.893	0.889
0.839	0.860
0.807	0.854
0.752	0.823
0.685	0.799
0.614	0.625
0.482	0.507
0.400	0.433
0.375	0.425
0.358	0.202
0.273	0.166
0.249	0.139
0.132	0.093
0.012	0.066
0.006	0.004

Ecuación de la distribución teórica:

$$P_t = (X \leq X_m) = e^{-e^{-\alpha (X_m - \beta)}}$$

Anexo 27. Determinación de la desviación máxima ( $\Delta$  máx) en la microcuenca 7

<b>Duración en minutos</b>	
<b>30</b>	<b>360</b>
<b>/ Pe - Pt /</b>	<b>/ Pe - Pt /</b>
0.002	0.025
-0.040	-0.003
-0.060	-0.056
-0.061	-0.082
-0.085	-0.132
-0.085	-0.156
-0.074	-0.188
-0.058	-0.069
0.018	-0.007
0.044	0.011
0.014	-0.036
-0.025	0.131
0.005	0.112
-0.027	0.083
0.035	0.074
0.099	0.045
0.050	0.052

Ecuación para calcular la desviación máxima:

$$\Delta \text{ máx} = / Pe (X \leq X_m) - Pt (X \leq X_m) /$$

Usando la tabla de Smirnov-Kolmogorov y trabajando con 17 años de registro, con una confianza del 95% obtenemos una Desviación máxima permitida de:  $(\Delta o) = 0.34$ . Como  $0.131 < 0.41$  ( $\Delta \text{ máx} < \Delta o$ ), se acepta el ajuste.

Anexo 28. Valores para la construcción de la curva IDF en la microcuenca 7

<b>T</b>	<b>1/T</b>	<b>Valores de precipitación</b>	
		<b>30</b>	<b>360</b>
10	0.100	102.635	17.066

Anexo 29. Intensidades de precipitación para cada duración en la microcuenca 13

Año	Duración en minutos	
	30	360
1984	53.6	14.7
1985	41.0	13.4
1986	69.2	9.6
1987	61.4	5.7
1989	85.6	9.2
1990	69.0	7.1
1991	78.0	15.9
1992	95.6	18.4
1993	80.4	13.9
1994	74.2	13.5
1995	61.6	3.0
1996	59.0	15.4
1997	89.2	16.2
1998	78.2	10.6
1999	82.8	7.5
2000	58.8	9.4
2001	76.2	12.5

Anexo 30. Ordenamiento de las intensidades de precipitación en la microcuenca 13

Años	Duración en minutos		m
	30	360	
1984	95.6	18.4	1
1985	89.2	16.2	2
1986	85.6	15.9	3
1987	82.8	15.4	4
1989	80.4	14.7	5
1990	78.2	13.9	6
1991	78.0	13.5	7
1992	76.2	13.4	8
1993	74.2	12.5	9
1994	69.2	10.6	10
1995	69.0	9.6	11
1996	61.6	9.4	12
1997	61.4	9.2	13
1998	59.0	7.5	14
1999	58.8	7.1	15
2000	53.6	5.7	16
2001	41.0	3.0	17

Anexo 31. Cálculo del periodo de retorno y probabilidades de ocurrencia y no ocurrencia en la microcuencia 13

Duración en minutos		M	(n+1)/m	m/(n+1)	1-[m/(n+1)]
30	360				
95.6	18.4	1	18.000	0.056	0.944
89.2	16.2	2	9.000	0.111	0.889
85.6	15.9	3	6.000	0.167	0.833
82.8	15.4	4	4.500	0.222	0.778
80.4	14.7	5	3.600	0.278	0.722
78.2	13.9	6	3.000	0.333	0.667
78.0	13.5	7	2.571	0.389	0.611
76.2	13.4	8	2.250	0.444	0.556
74.2	12.5	9	2.000	0.500	0.500
69.2	10.6	10	1.800	0.556	0.444
69.0	9.6	11	1.636	0.611	0.389
61.6	9.4	12	1.500	0.667	0.333
61.4	9.2	13	1.385	0.722	0.278
59.0	7.5	14	1.286	0.778	0.222
58.8	7.1	15	1.200	0.833	0.167
53.6	5.7	16	1.125	0.889	0.111
41.0	3.0	17	1.059	0.944	0.056

Anexo 32. Determinación de los parámetros de la distribución teórica en la microcuencia 13

Parámetros	Duración en minutos	
	30	360
$\Sigma$	1,213.800	196.000
Media	71.400	11.529
Sx	13.711	4.089
$\alpha$	0.094	0.314
$\beta$	65.222	9.687

Anexo 33. Determinación de la distribución teórica en la microfrecuencia 13

<b>Duración en minutos</b>	
30	360
0.943	0.937
0.899	0.878
0.862	0.867
0.824	0.847
0.785	0.813
0.743	0.766
0.739	0.739
0.699	0.732
0.649	0.661
0.502	0.472
0.495	0.358
0.246	0.335
0.239	0.312
0.167	0.137
0.161	0.105
0.051	0.030
0.000	0.000

Ecuación de la distribución teórica:

$$P_t = (X \leq X_m) = e^{-e^{-\alpha (X_m - \beta)}}$$

Anexo 34. Determinación de la desviación máxima ( $\Delta$  máx) en la microcuenca 13

<b>Duración en minutos</b>	
<b>30</b>	<b>360</b>
<b>/ Pe - Pt /</b>	<b>/ Pe - Pt /</b>
0.001	0.007
-0.010	0.011
-0.029	-0.034
-0.046	-0.069
-0.063	-0.091
-0.076	-0.099
-0.128	-0.128
-0.143	-0.176
-0.149	-0.161
-0.058	-0.028
-0.106	0.031
0.087	-0.002
0.039	-0.034
0.055	0.085
0.006	0.062
0.060	0.081
0.056	0.056

Ecuación para calcular la desviación máxima:

$$\Delta \text{ máx} = / Pe (X \leq X_m) - Pt (X \leq X_m) /$$

Usando la tabla de Smirnov-Kolmogorov y trabajando con 17 años de registro, con una confianza del 95% obtenemos una Desviación máxima permitida de:  $(\Delta o) = 0.34$ . Como  $0.176 < 0.34$  ( $\Delta \text{ máx} < \Delta o$ ), se acepta el ajuste.

Anexo 35. Valores para la construcción de la curva IDF en la microcuenca 13

<b>T</b>	<b>1/T</b>	<b>Valores de precipitación</b>	
		<b>30</b>	<b>360</b>
10	0.100	89.280	16.862



Anexo 36. Cálculo de las probabilidades de lluvia en la microcuenca siete

**Cálculo de las Probabilidades de Lluvia**

**Años de Evaluación: 1992-2001 (10 años)**

ENERO	FREC Lluvia	P(H)	P(S)	P(H/S)	P(H/H)
1	2.0	0.20	0.80	0.80	0.20
2	2.0	0.20	0.80	0.90	0.10
3	1.0	0.10	0.90	1.00	0.00
4	-	0.00	1.00	0.90	0.10
5	1.0	0.10	0.90	0.90	0.10
6	1.0	0.10	0.90	0.90	0.10
7	1.0	0.10	0.90	0.80	0.20
8	2.0	0.20	0.80	0.80	0.20
9	2.0	0.20	0.80	0.90	0.10
10	1.0	0.10	0.90	0.90	0.10
11	1.0	0.10	0.90	1.00	0.00
12	-	0.00	1.00	0.90	0.10
13	1.0	0.10	0.90	0.90	0.10
14	1.0	0.10	0.90	1.00	0.00
15	-	0.00	1.00	1.00	0.00
16	-	0.00	1.00	1.00	0.00
17	-	0.00	1.00	1.00	0.00
18	-	0.00	1.00	0.90	0.10
19	1.0	0.10	0.90	0.90	0.10
20	1.0	0.10	0.90	0.80	0.20
21	2.0	0.20	0.80	0.80	0.20
22	2.0	0.20	0.80	0.90	0.10
23	1.0	0.10	0.90	1.00	0.00
24	-	0.00	1.00	0.90	0.10
25	1.0	0.10	0.90	0.80	0.20
26	2.0	0.20	0.80	1.00	0.00
27	-	0.00	1.00	0.80	0.20
28	2.0	0.20	0.80	0.80	0.20
29	2.0	0.20	0.80	1.00	0.00
30	-	0.00	1.00	1.00	0.00
31	-	0.00	1.00	0.90	0.10
	1.0	0.10	0.90		
<b>Media</b>				<b>0.91</b>	<b>0.09</b>

FEBRERO	FREC Lluvia	P(H)	P(S)	P(H/S)	P(H/H)
1	1.0	0.10	0.90	1.00	0.00
2	-	0.00	1.00	0.90	0.10
3	1.0	0.10	0.90	0.80	0.20
4	2.0	0.20	0.80	0.90	0.10
5	1.0	0.10	0.90	1.00	0.00
6	-	0.00	1.00	0.90	0.10
7	1.0	0.10	0.90	0.80	0.20
8	2.0	0.20	0.80	1.00	0.00
9	-	0.00	1.00	1.00	0.00
10	-	0.00	1.00	1.00	0.00
11	-	0.00	1.00	1.00	0.00
12	-	0.00	1.00	0.90	0.10
13	1.0	0.10	0.90	1.00	0.00
14	-	0.00	1.00	1.00	0.00
15	-	0.00	1.00	1.00	0.00
16	-	0.00	1.00	0.90	0.10
17	1.0	0.10	0.90	0.70	0.30
18	3.0	0.30	0.70	0.90	0.10
19	1.0	0.10	0.90	1.00	0.00
20	-	0.00	1.00	1.00	0.00
21	-	0.00	1.00	1.00	0.00
22	-	0.00	1.00	1.00	0.00
23	-	0.00	1.00	1.00	0.00
24	-	0.00	1.00	1.00	0.00
25	-	0.00	1.00	1.00	0.00
26	-	0.00	1.00	1.00	0.00
27	-	0.00	1.00	0.80	0.20
28	2.0	0.20	0.80	1.00	0.00
29	-	0.00	1.00		
30					
31					
				<b>0.95</b>	<b>0.05</b>

### Cálculo de las Probabilidades de Lluvia

Años de Evaluación: 1992-2001 (10 años)

MARZO	FREC Iluvia	P(H)	P(S)	P(H/S)	P(H/H)
1	-	0.00	1.00	0.90	0.10
2	1.0	0.10	0.90	1.00	0.00
3	-	0.00	1.00	1.00	0.00
4	-	0.00	1.00	1.00	0.00
5	-	0.00	1.00	1.00	0.00
6	-	0.00	1.00	1.00	0.00
7	-	0.00	1.00	1.00	0.00
8	-	0.00	1.00	1.00	0.00
9	-	0.00	1.00	1.00	0.00
10	-	0.00	1.00	1.00	0.00
11	-	0.00	1.00	1.00	0.00
12	-	0.00	1.00	1.00	0.00
13	-	0.00	1.00	1.00	0.00
14	-	0.00	1.00	0.70	0.30
15	3.0	0.30	0.70	1.00	0.00
16	-	0.00	1.00	1.00	0.00
17	-	0.00	1.00	0.90	0.10
18	1.0	0.10	0.90	0.90	0.10
19	1.0	0.10	0.90	1.00	0.00
20	-	0.00	1.00	0.90	0.10
21	1.0	0.10	0.90	0.90	0.10
22	1.0	0.10	0.90	1.00	0.00
23	-	0.00	1.00	0.80	0.20
24	2.0	0.20	0.80	0.90	0.10
25	1.0	0.10	0.90	1.00	0.00
26	-	0.00	1.00	1.00	0.00
27	-	0.00	1.00	0.90	0.10
28	1.0	0.10	0.90	1.00	0.00
29	-	0.00	1.00	1.00	0.00
30	-	0.00	1.00	1.00	0.00
31	-	0.00	1.00	1.00	0.00
	-	0.00	1.00		
<b>Media</b>				<b>0.96</b>	<b>0.04</b>

ABRIL	FREC Iluvia	P(H)	P(S)	P(H/S)	P(H/H)
1	-	0.00	1.00	1.00	0.00
2	-	0.00	1.00	1.00	0.00
3	-	0.00	1.00	1.00	0.00
4	-	0.00	1.00	1.00	0.00
5	-	0.00	1.00	1.00	0.00
6	-	0.00	1.00	1.00	0.00
7	-	0.00	1.00	0.90	0.10
8	1.0	0.10	0.90	1.00	0.00
9	-	0.00	1.00	0.80	0.20
10	2.0	0.20	0.80	0.80	0.20
11	2.0	0.20	0.80	0.90	0.10
12	1.0	0.10	0.90	1.00	0.00
13	-	0.00	1.00	1.00	0.00
14	-	0.00	1.00	0.90	0.10
15	1.0	0.10	0.90	0.90	0.10
16	1.0	0.10	0.90	0.80	0.20
17	2.0	0.20	0.80	0.80	0.20
18	2.0	0.20	0.80	1.00	0.00
19	-	0.00	1.00	0.90	0.10
20	1.0	0.10	0.90	1.00	0.00
21	-	0.00	1.00	1.00	0.00
22	-	0.00	1.00	0.90	0.10
23	1.0	0.10	0.90	1.00	0.00
24	-	0.00	1.00	1.00	0.00
25	-	0.00	1.00	0.90	0.10
26	1.0	0.10	0.90	0.70	0.30
27	3.0	0.30	0.70	0.90	0.10
28	1.0	0.10	0.90	1.00	0.00
29	-	0.00	1.00	0.70	0.30
30	3.0	0.30	0.70	1.00	0.00
31	-	0.00	1.00	0.70	0.30
	3.0	0.30	0.70		
				<b>0.92</b>	<b>0.08</b>

### Cálculo de las Probabilidades de Lluvia

Años de Evaluación: 1992-2001 (10 años)

MAYO	FREC Iluvia	P(H)	P(S)	P(H/S)	P(H/H)
1	3.0	0.30	0.70	1.00	0.00
2	-	0.00	1.00	0.70	0.30
3	3.0	0.30	0.70	0.90	0.10
4	1.0	0.10	0.90	0.70	0.30
5	3.0	0.30	0.70	0.70	0.30
6	3.0	0.30	0.70	0.70	0.30
7	3.0	0.30	0.70	1.00	0.00
8	-	0.00	1.00	0.90	0.10
9	1.0	0.10	0.90	0.80	0.20
10	2.0	0.20	0.80	0.70	0.30
11	3.0	0.30	0.70	0.80	0.20
12	2.0	0.20	0.80	0.80	0.20
13	2.0	0.20	0.80	0.60	0.40
14	4.0	0.40	0.60	0.80	0.20
15	2.0	0.20	0.80	0.60	0.40
16	4.0	0.40	0.60	0.50	0.50
17	5.0	0.50	0.50	0.60	0.40
18	4.0	0.40	0.60	0.40	0.60
19	6.0	0.60	0.40	0.60	0.40
20	4.0	0.40	0.60	0.60	0.40
21	4.0	0.40	0.60	0.70	0.30
22	3.0	0.30	0.70	0.70	0.30
23	3.0	0.30	0.70	0.60	0.40
24	4.0	0.40	0.60	0.50	0.50
25	5.0	0.50	0.50	0.50	0.50
26	5.0	0.50	0.50	0.40	0.60
27	6.0	0.60	0.40	0.50	0.50
28	5.0	0.50	0.50	0.40	0.60
29	6.0	0.60	0.40	0.30	0.70
30	7.0	0.70	0.30	0.60	0.40
31	4.0	0.40	0.60	0.40	0.60
	6.0	0.60	0.40		
Media				0.65	0.35

JUNIO	FREC Iluvia	P(H)	P(S)	P(H/S)	P(H/H)
1	6.0	0.60	0.40	0.80	0.20
2	2.0	0.20	0.80	0.50	0.50
3	5.0	0.50	0.50	0.60	0.40
4	4.0	0.40	0.60	0.30	0.70
5	7.0	0.70	0.30	0.50	0.50
6	5.0	0.50	0.50	0.50	0.50
7	5.0	0.50	0.50	0.70	0.30
8	3.0	0.30	0.70	0.50	0.50
9	5.0	0.50	0.50	0.60	0.40
10	4.0	0.40	0.60	0.70	0.30
11	3.0	0.30	0.70	0.70	0.30
12	3.0	0.30	0.70	0.70	0.30
13	3.0	0.30	0.70	0.50	0.50
14	5.0	0.50	0.50	0.60	0.40
15	4.0	0.40	0.60	0.50	0.50
16	5.0	0.50	0.50	0.70	0.30
17	3.0	0.30	0.70	0.40	0.60
18	6.0	0.60	0.40	0.10	0.90
19	9.0	0.90	0.10	0.30	0.70
20	7.0	0.70	0.30	0.30	0.70
21	7.0	0.70	0.30	0.30	0.70
22	7.0	0.70	0.30	0.30	0.70
23	7.0	0.70	0.30	0.30	0.70
24	7.0	0.70	0.30	0.30	0.70
25	7.0	0.70	0.30	0.50	0.50
26	5.0	0.50	0.50	0.40	0.60
27	6.0	0.60	0.40	0.70	0.30
28	3.0	0.30	0.70	0.30	0.70
29	7.0	0.70	0.30	0.30	0.70
30	7.0	0.70	0.30	1.00	0.00
31	-	0.00	1.00	0.40	0.60
	6.0	0.60	0.40		
				0.49	0.51

**Cálculo de las Probabilidades de Lluvia**  
**Años de Evaluación: 1992-2001 (10 años)**

JULIO	FREC lluvia	P(H)	P(S)	P(H/S)	P(H/H)
1	6.0	0.60	0.40	0.40	0.60
2	6.0	0.60	0.40	0.60	0.40
3	4.0	0.40	0.60	0.40	0.60
4	6.0	0.60	0.40	0.60	0.40
5	4.0	0.40	0.60	0.40	0.60
6	6.0	0.60	0.40	0.50	0.50
7	5.0	0.50	0.50	0.60	0.40
8	4.0	0.40	0.60	0.70	0.30
9	3.0	0.30	0.70	0.40	0.60
10	6.0	0.60	0.40	0.40	0.60
11	6.0	0.60	0.40	0.10	0.90
12	9.0	0.90	0.10	0.70	0.30
13	3.0	0.30	0.70	0.60	0.40
14	4.0	0.40	0.60	0.90	0.10
15	1.0	0.10	0.90	0.60	0.40
16	4.0	0.40	0.60	0.50	0.50
17	5.0	0.50	0.50	0.50	0.50
18	5.0	0.50	0.50	0.10	0.90
19	9.0	0.90	0.10	0.40	0.60
20	6.0	0.60	0.40	0.50	0.50
21	5.0	0.50	0.50	0.60	0.40
22	4.0	0.40	0.60	0.30	0.70
23	7.0	0.70	0.30	0.50	0.50
24	5.0	0.50	0.50	0.40	0.60
25	6.0	0.60	0.40	0.60	0.40
26	4.0	0.40	0.60	0.70	0.30
27	3.0	0.30	0.70	0.30	0.70
28	7.0	0.70	0.30	0.60	0.40
29	4.0	0.40	0.60	0.60	0.40
30	4.0	0.40	0.60	0.60	0.40
31	4.0	0.40	0.60	0.80	0.20
	2.0	0.20	0.80		
Media				0.51	0.49

AGOSTO	FREC lluvia	P(H)	P(S)	P(H/S)	P(H/H)
1	2.0	0.20	0.80	0.60	0.40
2	4.0	0.40	0.60	0.50	0.50
3	5.0	0.50	0.50	0.40	0.60
4	6.0	0.60	0.40	0.40	0.60
5	6.0	0.60	0.40	0.70	0.30
6	3.0	0.30	0.70	0.20	0.80
7	8.0	0.80	0.20	0.40	0.60
8	6.0	0.60	0.40	0.40	0.60
9	6.0	0.60	0.40	0.60	0.40
10	4.0	0.40	0.60	0.40	0.60
11	6.0	0.60	0.40	0.70	0.30
12	3.0	0.30	0.70	0.60	0.40
13	4.0	0.40	0.60	0.30	0.70
14	7.0	0.70	0.30	0.40	0.60
15	6.0	0.60	0.40	0.50	0.50
16	5.0	0.50	0.50	0.50	0.50
17	5.0	0.50	0.50	0.40	0.60
18	6.0	0.60	0.40	0.50	0.50
19	5.0	0.50	0.50	0.20	0.80
20	8.0	0.80	0.20	0.60	0.40
21	4.0	0.40	0.60	0.50	0.50
22	5.0	0.50	0.50	0.60	0.40
23	4.0	0.40	0.60	0.60	0.40
24	4.0	0.40	0.60	0.50	0.50
25	5.0	0.50	0.50	0.70	0.30
26	3.0	0.30	0.70	0.40	0.60
27	6.0	0.60	0.40	0.50	0.50
28	5.0	0.50	0.50	0.60	0.40
29	4.0	0.40	0.60	0.70	0.30
30	3.0	0.30	0.70	0.50	0.50
31	5.0	0.50	0.50	0.40	0.60
	6.0	0.60	0.40		
				0.49	0.51

**Cálculo de las Probabilidades de Lluvia**  
**Años de Evaluación: 1992-2001 (10 años)**

SEPTIEMBRE	FREC lluvia	P(H)	P(S)	P(H/S)	P(H/H)
1	6.0	0.60	0.40	0.70	0.30
2	3.0	0.30	0.70	0.50	0.50
3	5.0	0.50	0.50	0.40	0.60
4	6.0	0.60	0.40	0.30	0.70
5	7.0	0.70	0.30	0.40	0.60
6	6.0	0.60	0.40	0.30	0.70
7	7.0	0.70	0.30	0.20	0.80
8	8.0	0.80	0.20	0.40	0.60
9	6.0	0.60	0.40	0.50	0.50
10	5.0	0.50	0.50	0.30	0.70
11	7.0	0.70	0.30	0.40	0.60
12	6.0	0.60	0.40	0.50	0.50
13	5.0	0.50	0.50	0.30	0.70
14	7.0	0.70	0.30	0.50	0.50
15	5.0	0.50	0.50	0.20	0.80
16	8.0	0.80	0.20	0.30	0.70
17	7.0	0.70	0.30	0.60	0.40
18	4.0	0.40	0.60	0.40	0.60
19	6.0	0.60	0.40	0.40	0.60
20	6.0	0.60	0.40	0.40	0.60
21	6.0	0.60	0.40	0.30	0.70
22	7.0	0.70	0.30	0.70	0.30
23	3.0	0.30	0.70	0.20	0.80
24	8.0	0.80	0.20	0.20	0.80
25	8.0	0.80	0.20	0.30	0.70
26	7.0	0.70	0.30	0.20	0.80
27	8.0	0.80	0.20	0.20	0.80
28	8.0	0.80	0.20	0.00	1.00
29	10.0	1.00	0.00	0.40	0.60
30	6.0	0.60	0.40	1.00	0.00
31	-	0.00	1.00	0.10	0.90
	9.0	0.90	0.10		
Media				0.37	0.63

OCTUBRE	FREC lluvia	P(H)	P(S)	P(H/S)	P(H/H)
1	9.0	0.90	0.10	0.40	0.60
2	6.0	0.60	0.40	0.20	0.80
3	8.0	0.80	0.20	0.30	0.70
4	7.0	0.70	0.30	0.50	0.50
5	5.0	0.50	0.50	0.60	0.40
6	4.0	0.40	0.60	0.40	0.60
7	6.0	0.60	0.40	0.40	0.60
8	6.0	0.60	0.40	0.50	0.50
9	5.0	0.50	0.50	0.40	0.60
10	6.0	0.60	0.40	0.20	0.80
11	8.0	0.80	0.20	0.30	0.70
12	7.0	0.70	0.30	0.20	0.80
13	8.0	0.80	0.20	0.60	0.40
14	4.0	0.40	0.60	0.40	0.60
15	6.0	0.60	0.40	0.50	0.50
16	5.0	0.50	0.50	0.20	0.80
17	8.0	0.80	0.20	0.40	0.60
18	6.0	0.60	0.40	0.40	0.60
19	6.0	0.60	0.40	0.40	0.60
20	6.0	0.60	0.40	0.50	0.50
21	5.0	0.50	0.50	0.50	0.50
22	5.0	0.50	0.50	0.50	0.50
23	5.0	0.50	0.50	0.50	0.50
24	5.0	0.50	0.50	0.50	0.50
25	5.0	0.50	0.50	0.70	0.30
26	3.0	0.30	0.70	0.40	0.60
27	6.0	0.60	0.40	0.40	0.60
28	6.0	0.60	0.40	0.60	0.40
29	4.0	0.40	0.60	0.60	0.40
30	4.0	0.40	0.60	0.70	0.30
31	3.0	0.30	0.70	0.50	0.50
	5.0	0.50	0.50		
				0.44	0.56

**Cálculo de las Probabilidades de Lluvia**  
**Años de Evaluación: 1992-2001 (10 años)**

NOVIEMBRE	FREC lluvia	P(H)	P(S)	P(H/S)	P(H/H)
1	5.0	0.50	0.50	0.20	0.80
2	8.0	0.80	0.20	0.30	0.70
3	7.0	0.70	0.30	0.70	0.30
4	3.0	0.30	0.70	0.40	0.60
5	6.0	0.60	0.40	0.60	0.40
6	4.0	0.40	0.60	0.70	0.30
7	3.0	0.30	0.70	0.70	0.30
8	3.0	0.30	0.70	0.60	0.40
9	4.0	0.40	0.60	0.50	0.50
10	5.0	0.50	0.50	0.70	0.30
11	3.0	0.30	0.70	0.60	0.40
12	4.0	0.40	0.60	0.70	0.30
13	3.0	0.30	0.70	0.80	0.20
14	2.0	0.20	0.80	0.80	0.20
15	2.0	0.20	0.80	0.90	0.10
16	1.0	0.10	0.90	1.00	0.00
17	-	0.00	1.00	0.50	0.50
18	5.0	0.50	0.50	0.70	0.30
19	3.0	0.30	0.70	0.70	0.30
20	3.0	0.30	0.70	0.50	0.50
21	5.0	0.50	0.50	0.60	0.40
22	4.0	0.40	0.60	0.70	0.30
23	3.0	0.30	0.70	0.80	0.20
24	2.0	0.20	0.80	0.80	0.20
25	2.0	0.20	0.80	0.60	0.40
26	4.0	0.40	0.60	0.60	0.40
27	4.0	0.40	0.60	0.80	0.20
28	2.0	0.20	0.80	0.80	0.20
29	2.0	0.20	0.80	1.00	0.00
30	-	0.00	1.00	1.00	0.00
31	-	0.00	1.00	0.70	0.30
	3.0	0.30	0.70		
Media				<b>0.68</b>	<b>0.32</b>

DICIEMBRE	FREC lluvia	P(H)	P(S)	P(H/S)	P(H/H)
1	3.0	0.30	0.70	0.80	0.20
2	2.0	0.20	0.80	0.80	0.20
3	2.0	0.20	0.80	1.00	0.00
4	-	0.00	1.00	0.80	0.20
5	2.0	0.20	0.80	0.90	0.10
6	1.0	0.10	0.90	0.70	0.30
7	3.0	0.30	0.70	0.50	0.50
8	5.0	0.50	0.50	0.70	0.30
9	3.0	0.30	0.70	1.00	0.00
10	-	0.00	1.00	1.00	0.00
11	-	0.00	1.00	1.00	0.00
12	-	0.00	1.00	1.00	0.00
13	-	0.00	1.00	1.00	0.00
14	-	0.00	1.00	0.80	0.20
15	2.0	0.20	0.80	1.00	0.00
16	-	0.00	1.00	0.90	0.10
17	1.0	0.10	0.90	0.80	0.20
18	2.0	0.20	0.80	0.90	0.10
19	1.0	0.10	0.90	0.60	0.40
20	4.0	0.40	0.60	0.90	0.10
21	1.0	0.10	0.90	0.90	0.10
22	1.0	0.10	0.90	0.90	0.10
23	1.0	0.10	0.90	1.00	0.00
24	-	0.00	1.00	0.80	0.20
25	2.0	0.20	0.80	0.60	0.40
26	4.0	0.40	0.60	0.70	0.30
27	3.0	0.30	0.70	1.00	0.00
28	-	0.00	1.00	0.90	0.10
29	1.0	0.10	0.90	0.70	0.30
30	3.0	0.30	0.70	0.90	0.10
31	1.0	0.10	0.90	0.80	0.20
	2.0	0.20	0.80		
				<b>0.85</b>	<b>0.15</b>

Ver índice de abreviaturas utilizadas

Anexo 37. Cálculo de las probabilidades de lluvia en la microcuenca trece

**Cálculo de las Probabilidades de Lluvia**

**Años de Evaluación: 1990-1999 (10 años)**

ENERO	FREC lluvia	P(H)	P(S)	P(H/S)	P(H/H)
1	1.0	0.10	0.90	0.80	0.20
2	2.0	0.20	0.80	0.60	0.40
3	4.0	0.40	0.60	0.70	0.30
4	3.0	0.30	0.70	0.80	0.20
5	2.0	0.20	0.80	0.90	0.10
6	1.0	0.10	0.90	0.90	0.10
7	1.0	0.10	0.90	0.90	0.10
8	1.0	0.10	0.90	0.70	0.30
9	3.0	0.30	0.70	0.70	0.30
10	3.0	0.30	0.70	0.70	0.30
11	3.0	0.30	0.70	0.80	0.20
12	2.0	0.20	0.80	0.90	0.10
13	1.0	0.10	0.90	1.00	0.00
14	-	0.00	1.00	0.90	0.10
15	1.0	0.10	0.90	1.00	0.00
16	-	0.00	1.00	0.90	0.10
17	1.0	0.10	0.90	1.00	0.00
18	-	0.00	1.00	0.90	0.10
19	1.0	0.10	0.90	0.80	0.20
20	2.0	0.20	0.80	0.90	0.10
21	1.0	0.10	0.90	1.00	0.00
22	-	0.00	1.00	0.80	0.20
23	2.0	0.20	0.80	0.90	0.10
24	1.0	0.10	0.90	0.90	0.10
25	1.0	0.10	0.90	0.80	0.20
26	2.0	0.20	0.80	0.90	0.10
27	1.0	0.10	0.90	0.90	0.10
28	1.0	0.10	0.90	0.80	0.20
29	2.0	0.20	0.80	0.90	0.10
30	1.0	0.10	0.90	0.80	0.20
31	2.0	0.20	0.80	0.80	0.20
	2.0	0.20	0.80		
<b>Media</b>				<b>0.85</b>	<b>0.15</b>

FEBRERO	FREC lluvia	P(H)	P(S)	P(H/S)	P(H/H)
1	2.0	0.20	0.80	0.80	0.20
2	2.0	0.20	0.80	0.90	0.10
3	1.0	0.10	0.90	0.90	0.10
4	1.0	0.10	0.90	0.90	0.10
5	1.0	0.10	0.90	1.00	0.00
6	-	0.00	1.00	0.90	0.10
7	1.0	0.10	0.90	0.90	0.10
8	1.0	0.10	0.90	1.00	0.00
9	-	0.00	1.00	1.00	0.00
10	-	0.00	1.00	1.00	0.00
11	-	0.00	1.00	0.90	0.10
12	1.0	0.10	0.90	1.00	0.00
13	-	0.00	1.00	1.00	0.00
14	-	0.00	1.00	0.90	0.10
15	1.0	0.10	0.90	1.00	0.00
16	-	0.00	1.00	1.00	0.00
17	-	0.00	1.00	0.90	0.10
18	1.0	0.10	0.90	0.90	0.10
19	1.0	0.10	0.90	0.90	0.10
20	1.0	0.10	0.90	0.90	0.10
21	1.0	0.10	0.90	1.00	0.00
22	-	0.00	1.00	1.00	0.00
23	-	0.00	1.00	1.00	0.00
24	-	0.00	1.00	0.90	0.10
25	1.0	0.10	0.90	0.90	0.10
26	1.0	0.10	0.90	1.00	0.00
27	-	0.00	1.00	0.80	0.20
28	2.0	0.20	0.80	1.00	0.00
29	-	0.00	1.00		
30	-	0.00	1.00		
31	-	0.00	1.00		
	-	0.00	1.00		
				<b>0.94</b>	<b>0.06</b>

### Cálculo de las Probabilidades de Lluvia

MARZO	FREC lluvia	P(H)	P(S)	P(H/S)	P(H/H)
1	-	0.00	1.00	0.90	0.10
2	1.0	0.10	0.90	0.90	0.10
3	1.0	0.10	0.90	0.90	0.10
4	1.0	0.10	0.90	0.80	0.20
5	2.0	0.20	0.80	0.90	0.10
6	1.0	0.10	0.90	0.90	0.10
7	1.0	0.10	0.90	0.90	0.10
8	1.0	0.10	0.90	0.90	0.10
9	1.0	0.10	0.90	1.00	0.00
10	-	0.00	1.00	1.00	0.00
11	-	0.00	1.00	1.00	0.00
12	-	0.00	1.00	1.00	0.00
13	-	0.00	1.00	1.00	0.00
14	-	0.00	1.00	0.80	0.20
15	2.0	0.20	0.80	0.80	0.20
16	2.0	0.20	0.80	1.00	0.00
17	-	0.00	1.00	1.00	0.00
18	-	0.00	1.00	1.00	0.00
19	-	0.00	1.00	1.00	0.00
20	-	0.00	1.00	1.00	0.00
21	-	0.00	1.00	0.90	0.10
22	1.0	0.10	0.90	0.90	0.10
23	1.0	0.10	0.90	0.90	0.10
24	1.0	0.10	0.90	1.00	0.00
25	-	0.00	1.00	1.00	0.00
26	-	0.00	1.00	1.00	0.00
27	-	0.00	1.00	1.00	0.00
28	-	0.00	1.00	1.00	0.00
29	-	0.00	1.00	1.00	0.00
30	-	0.00	1.00	1.00	0.00
31	-	0.00	1.00	1.00	0.00
	-	0.00	1.00		
Media				0.95	0.05

ABRIL	FREC lluvia	P(H)	P(S)	P(H/S)	P(H/H)
1	-	0.00	1.00	1.00	0.00
2	-	0.00	1.00	1.00	0.00
3	-	0.00	1.00	1.00	0.00
4	-	0.00	1.00	0.90	0.10
5	1.0	0.10	0.90	1.00	0.00
6	-	0.00	1.00	1.00	0.00
7	-	0.00	1.00	0.90	0.10
8	1.0	0.10	0.90	1.00	0.00
9	-	0.00	1.00	0.80	0.20
10	2.0	0.20	0.80	1.00	0.00
11	-	0.00	1.00	0.90	0.10
12	1.0	0.10	0.90	1.00	0.00
13	-	0.00	1.00	1.00	0.00
14	-	0.00	1.00	0.90	0.10
15	1.0	0.10	0.90	1.00	0.00
16	-	0.00	1.00	0.90	0.10
17	1.0	0.10	0.90	0.80	0.20
18	2.0	0.20	0.80	0.80	0.20
19	2.0	0.20	0.80	0.90	0.10
20	1.0	0.10	0.90	1.00	0.00
21	-	0.00	1.00	0.90	0.10
22	1.0	0.10	0.90	1.00	0.00
23	-	0.00	1.00	1.00	0.00
24	-	0.00	1.00	0.90	0.10
25	1.0	0.10	0.90	1.00	0.00
26	-	0.00	1.00	1.00	0.00
27	-	0.00	1.00	0.80	0.20
28	2.0	0.20	0.80	0.80	0.20
29	2.0	0.20	0.80	0.90	0.10
30	1.0	0.10	0.90	1.00	0.00
31	-	0.00	1.00	0.80	0.20
	2.0	0.20	0.80		
				0.93	0.07



### Cálculo de las Probabilidades de Lluvia

MAYO	FREC lluvia	P(H)	P(S)	P(H/S)	P(H/H)
1	2.0	0.20	0.80	0.80	0.20
2	2.0	0.20	0.80	0.90	0.10
3	1.0	0.10	0.90	0.90	0.10
4	1.0	0.10	0.90	0.70	0.30
5	3.0	0.30	0.70	0.80	0.20
6	2.0	0.20	0.80	0.90	0.10
7	1.0	0.10	0.90	1.00	0.00
8	-	0.00	1.00	0.90	0.10
9	1.0	0.10	0.90	0.70	0.30
10	3.0	0.30	0.70	0.80	0.20
11	2.0	0.20	0.80	0.90	0.10
12	1.0	0.10	0.90	0.80	0.20
13	2.0	0.20	0.80	0.80	0.20
14	2.0	0.20	0.80	0.80	0.20
15	2.0	0.20	0.80	0.70	0.30
16	3.0	0.30	0.70	0.60	0.40
17	4.0	0.40	0.60	0.60	0.40
18	4.0	0.40	0.60	0.40	0.60
19	6.0	0.60	0.40	0.40	0.60
20	6.0	0.60	0.40	0.60	0.40
21	4.0	0.40	0.60	0.50	0.50
22	5.0	0.50	0.50	0.60	0.40
23	4.0	0.40	0.60	0.50	0.50
24	5.0	0.50	0.50	0.40	0.60
25	6.0	0.60	0.40	0.40	0.60
26	6.0	0.60	0.40	0.50	0.50
27	5.0	0.50	0.50	0.50	0.50
28	5.0	0.50	0.50	0.50	0.50
29	5.0	0.50	0.50	0.50	0.50
30	5.0	0.50	0.50	0.50	0.50
31	5.0	0.50	0.50	0.60	0.40
	4.0	0.40	0.60		
<b>Media</b>				<b>0.66</b>	<b>0.34</b>

JUNIO	FREC lluvia	P(H)	P(S)	P(H/S)	P(H/H)
1	4.0	0.40	0.60	0.60	0.40
2	4.0	0.40	0.60	0.60	0.40
3	4.0	0.40	0.60	0.70	0.30
4	3.0	0.30	0.70	0.50	0.50
5	5.0	0.50	0.50	0.60	0.40
6	4.0	0.40	0.60	0.40	0.60
7	6.0	0.60	0.40	0.30	0.70
8	7.0	0.70	0.30	0.60	0.40
9	4.0	0.40	0.60	0.60	0.40
10	4.0	0.40	0.60	0.50	0.50
11	5.0	0.50	0.50	0.80	0.20
12	2.0	0.20	0.80	0.70	0.30
13	3.0	0.30	0.70	0.40	0.60
14	6.0	0.60	0.40	0.50	0.50
15	5.0	0.50	0.50	0.30	0.70
16	7.0	0.70	0.30	0.60	0.40
17	4.0	0.40	0.60	0.30	0.70
18	7.0	0.70	0.30	0.20	0.80
19	8.0	0.80	0.20	0.10	0.90
20	9.0	0.90	0.10	0.30	0.70
21	7.0	0.70	0.30	0.50	0.50
22	5.0	0.50	0.50	0.50	0.50
23	5.0	0.50	0.50	0.50	0.50
24	5.0	0.50	0.50	0.30	0.70
25	7.0	0.70	0.30	0.30	0.70
26	7.0	0.70	0.30	0.50	0.50
27	5.0	0.50	0.50	0.20	0.80
28	8.0	0.80	0.20	0.60	0.40
29	4.0	0.40	0.60	0.30	0.70
30	7.0	0.70	0.30	1.00	0.00
31	-	0.00	1.00	0.20	0.80
	8.0	0.80	0.20		
				<b>0.47</b>	<b>0.53</b>

### Cálculo de las Probabilidades de Lluvia

JULIO	FREC lluvia	P(H)	P(S)	P(H/S)	P(H/H)
1	8.0	0.80	0.20	0.40	0.60
2	6.0	0.60	0.40	0.30	0.70
3	7.0	0.70	0.30	0.30	0.70
4	7.0	0.70	0.30	0.50	0.50
5	5.0	0.50	0.50	0.60	0.40
6	4.0	0.40	0.60	0.50	0.50
7	5.0	0.50	0.50	0.40	0.60
8	6.0	0.60	0.40	0.40	0.60
9	6.0	0.60	0.40	0.50	0.50
10	5.0	0.50	0.50	0.70	0.30
11	3.0	0.30	0.70	0.20	0.80
12	8.0	0.80	0.20	0.40	0.60
13	6.0	0.60	0.40	0.70	0.30
14	3.0	0.30	0.70	0.70	0.30
15	3.0	0.30	0.70	0.40	0.60
16	6.0	0.60	0.40	0.40	0.60
17	6.0	0.60	0.40	0.30	0.70
18	7.0	0.70	0.30	0.30	0.70
19	7.0	0.70	0.30	0.50	0.50
20	5.0	0.50	0.50	0.70	0.30
21	3.0	0.30	0.70	0.40	0.60
22	6.0	0.60	0.40	0.30	0.70
23	7.0	0.70	0.30	0.30	0.70
24	7.0	0.70	0.30	0.50	0.50
25	5.0	0.50	0.50	0.60	0.40
26	4.0	0.40	0.60	0.50	0.50
27	5.0	0.50	0.50	0.50	0.50
28	5.0	0.50	0.50	0.50	0.50
29	5.0	0.50	0.50	0.40	0.60
30	6.0	0.60	0.40	0.50	0.50
31	5.0	0.50	0.50	0.30	0.70
	7.0	0.70	0.30		
<b>Media</b>				<b>0.45</b>	<b>0.55</b>

AGOSTO	FREC lluvia	P(H)	P(S)	P(H/S)	P(H/H)
1	7.0	0.70	0.30	0.30	0.70
2	7.0	0.70	0.30	0.60	0.40
3	4.0	0.40	0.60	0.60	0.40
4	4.0	0.40	0.60	0.40	0.60
5	6.0	0.60	0.40	0.70	0.30
6	3.0	0.30	0.70	0.40	0.60
7	6.0	0.60	0.40	0.30	0.70
8	7.0	0.70	0.30	0.30	0.70
9	7.0	0.70	0.30	0.20	0.80
10	8.0	0.80	0.20	0.50	0.50
11	5.0	0.50	0.50	0.50	0.50
12	5.0	0.50	0.50	0.50	0.50
13	5.0	0.50	0.50	0.30	0.70
14	7.0	0.70	0.30	0.30	0.70
15	7.0	0.70	0.30	0.40	0.60
16	6.0	0.60	0.40	0.50	0.50
17	5.0	0.50	0.50	0.40	0.60
18	6.0	0.60	0.40	0.40	0.60
19	6.0	0.60	0.40	0.30	0.70
20	7.0	0.70	0.30	0.40	0.60
21	6.0	0.60	0.40	0.70	0.30
22	3.0	0.30	0.70	0.50	0.50
23	5.0	0.50	0.50	0.50	0.50
24	5.0	0.50	0.50	0.60	0.40
25	4.0	0.40	0.60	0.40	0.60
26	6.0	0.60	0.40	0.50	0.50
27	5.0	0.50	0.50	0.70	0.30
28	3.0	0.30	0.70	0.50	0.50
29	5.0	0.50	0.50	0.70	0.30
30	3.0	0.30	0.70	0.50	0.50
31	5.0	0.50	0.50	0.50	0.50
	5.0	0.50	0.50		
				<b>0.46</b>	<b>0.54</b>

### Cálculo de las Probabilidades de Lluvia

SEPTIEMBRE	FREC lluvia	P(H)	P(S)	P(H/S)	P(H/H)
1	5.0	0.50	0.50	0.40	0.60
2	6.0	0.60	0.40	0.50	0.50
3	5.0	0.50	0.50	0.30	0.70
4	7.0	0.70	0.30	0.40	0.60
5	6.0	0.60	0.40	0.30	0.70
6	7.0	0.70	0.30	0.50	0.50
7	5.0	0.50	0.50	0.50	0.50
8	5.0	0.50	0.50	0.40	0.60
9	6.0	0.60	0.40	0.60	0.40
10	4.0	0.40	0.60	0.40	0.60
11	6.0	0.60	0.40	0.50	0.50
12	5.0	0.50	0.50	0.60	0.40
13	4.0	0.40	0.60	0.50	0.50
14	5.0	0.50	0.50	0.60	0.40
15	4.0	0.40	0.60	0.30	0.70
16	7.0	0.70	0.30	0.50	0.50
17	5.0	0.50	0.50	0.50	0.50
18	5.0	0.50	0.50	0.70	0.30
19	3.0	0.30	0.70	0.60	0.40
20	4.0	0.40	0.60	0.40	0.60
21	6.0	0.60	0.40	0.30	0.70
22	7.0	0.70	0.30	0.40	0.60
23	6.0	0.60	0.40	0.20	0.80
24	8.0	0.80	0.20	0.30	0.70
25	7.0	0.70	0.30	0.30	0.70
26	7.0	0.70	0.30	0.10	0.90
27	9.0	0.90	0.10	0.30	0.70
28	7.0	0.70	0.30	0.20	0.80
29	8.0	0.80	0.20	0.30	0.70
30	7.0	0.70	0.30	1.00	0.00
31	-	0.00	1.00	0.20	0.80
Media	8.0	0.80	0.20	0.42	0.58

OCTUBRE	FREC lluvia	P(H)	P(S)	P(H/S)	P(H/H)
1	8.0	0.80	0.20	0.30	0.70
2	7.0	0.70	0.30	0.40	0.60
3	6.0	0.60	0.40	0.20	0.80
4	8.0	0.80	0.20	0.30	0.70
5	7.0	0.70	0.30	0.30	0.70
6	7.0	0.70	0.30	0.20	0.80
7	8.0	0.80	0.20	0.50	0.50
8	5.0	0.50	0.50	0.30	0.70
9	7.0	0.70	0.30	0.30	0.70
10	7.0	0.70	0.30	0.20	0.80
11	8.0	0.80	0.20	0.30	0.70
12	7.0	0.70	0.30	0.20	0.80
13	8.0	0.80	0.20	0.20	0.80
14	8.0	0.80	0.20	0.50	0.50
15	5.0	0.50	0.50	0.40	0.60
16	6.0	0.60	0.40	0.40	0.60
17	6.0	0.60	0.40	0.30	0.70
18	7.0	0.70	0.30	0.20	0.80
19	8.0	0.80	0.20	0.10	0.90
20	9.0	0.90	0.10	0.40	0.60
21	6.0	0.60	0.40	0.60	0.40
22	4.0	0.40	0.60	0.60	0.40
23	4.0	0.40	0.60	0.70	0.30
24	3.0	0.30	0.70	0.60	0.40
25	4.0	0.40	0.60	0.30	0.70
26	7.0	0.70	0.30	0.40	0.60
27	6.0	0.60	0.40	0.60	0.40
28	4.0	0.40	0.60	0.70	0.30
29	3.0	0.30	0.70	0.50	0.50
30	5.0	0.50	0.50	0.70	0.30
31	3.0	0.30	0.70	0.60	0.40
Media	4.0	0.40	0.60	0.40	0.60

### Cálculo de las Probabilidades de Lluvia

NOVIEMBRE	FREC lluvia	P(H)	P(S)	P(H/S)	P(H/H)
1	4.0	0.40	0.60	0.30	0.70
2	7.0	0.70	0.30	0.20	0.80
3	8.0	0.80	0.20	0.30	0.70
4	7.0	0.70	0.30	0.40	0.60
5	6.0	0.60	0.40	0.40	0.60
6	6.0	0.60	0.40	0.60	0.40
7	4.0	0.40	0.60	0.70	0.30
8	3.0	0.30	0.70	0.50	0.50
9	5.0	0.50	0.50	0.50	0.50
10	5.0	0.50	0.50	0.80	0.20
11	2.0	0.20	0.80	0.60	0.40
12	4.0	0.40	0.60	0.50	0.50
13	5.0	0.50	0.50	0.70	0.30
14	3.0	0.30	0.70	0.60	0.40
15	4.0	0.40	0.60	0.60	0.40
16	4.0	0.40	0.60	0.80	0.20
17	2.0	0.20	0.80	0.70	0.30
18	3.0	0.30	0.70	0.90	0.10
19	1.0	0.10	0.90	0.70	0.30
20	3.0	0.30	0.70	0.80	0.20
21	2.0	0.20	0.80	0.50	0.50
22	5.0	0.50	0.50	0.90	0.10
23	1.0	0.10	0.90	1.00	0.00
24	-	0.00	1.00	0.80	0.20
25	2.0	0.20	0.80	0.60	0.40
26	4.0	0.40	0.60	0.80	0.20
27	2.0	0.20	0.80	0.70	0.30
28	3.0	0.30	0.70	0.70	0.30
29	3.0	0.30	0.70	0.60	0.40
30	4.0	0.40	0.60	1.00	0.00
31	-	0.00	1.00	0.70	0.30
	3.0	0.30	0.70		
Media				<b>0.64</b>	<b>0.36</b>

DICIEMBRE	FREC lluvia	P(H)	P(S)	P(H/S)	P(H/H)
1	3.0	0.30	0.70	0.70	0.30
2	3.0	0.30	0.70	0.60	0.40
3	4.0	0.40	0.60	0.70	0.30
4	3.0	0.30	0.70	0.80	0.20
5	2.0	0.20	0.80	0.90	0.10
6	1.0	0.10	0.90	0.70	0.30
7	3.0	0.30	0.70	0.60	0.40
8	4.0	0.40	0.60	0.60	0.40
9	4.0	0.40	0.60	0.80	0.20
10	2.0	0.20	0.80	0.80	0.20
11	2.0	0.20	0.80	0.90	0.10
12	1.0	0.10	0.90	0.80	0.20
13	2.0	0.20	0.80	0.70	0.30
14	3.0	0.30	0.70	0.80	0.20
15	2.0	0.20	0.80	1.00	0.00
16	-	0.00	1.00	0.90	0.10
17	1.0	0.10	0.90	0.90	0.10
18	1.0	0.10	0.90	1.00	0.00
19	-	0.00	1.00	1.00	0.00
20	-	0.00	1.00	0.90	0.10
21	1.0	0.10	0.90	0.80	0.20
22	2.0	0.20	0.80	0.90	0.10
23	1.0	0.10	0.90	0.70	0.30
24	3.0	0.30	0.70	0.70	0.30
25	3.0	0.30	0.70	0.80	0.20
26	2.0	0.20	0.80	0.80	0.20
27	2.0	0.20	0.80	0.90	0.10
28	1.0	0.10	0.90	0.90	0.10
29	1.0	0.10	0.90	0.80	0.20
30	2.0	0.20	0.80	0.90	0.10
31	1.0	0.10	0.90	0.90	0.10
	1.0	0.10	0.90		
				<b>0.81</b>	<b>0.19</b>

Ver índice de abreviaturas utilizadas

Anexo 38. Variables de precipitación de la microcuenca 7

Meses / Variables	E	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D
PCPD	3	1.60	1.20	2.20	10.70	15.70	15.40	15.40	19.1	17.70	10.20	4.90
PCP_STAT1	0.26	0.29	0.19	0.51	5.53	5.99	3.76	5.00	9.06	8.21	2.69	0.26
PCP_STAT2	1.40	3.30	2.25	3.49	15.94	13.31	10.75	11.39	16.89	17.77	7.73	1.02
PCP_STAT3	7.04	15.78	14.08	9.18	4.51	3.88	5.60	4.49	3.21	3.25	4.10	6.26

Ver índice de abreviaturas utilizadas.

Anexo 39. Variables de precipitación de la microcuenca 13

Meses / Variables	E	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D
PCPD	4.6	1.90	1.70	2.10	10.30	15.90	17.30	16.80	17.6	19.10	11.20	6.00
PCP_STAT1	0.71	0.16	0.15	0.60	7.74	7.02	4.58	5.75	9.10	11.00	4.75	0.53
PCP_STAT2	3.89	0.77	0.97	3.19	19.42	17.24	12.96	13.68	20.23	23.23	16.09	1.88
PCP_STAT3	8.96	6.12	8.74	7.24	3.33	4.50	5.80	4.57	4.64	4.09	8.20	6.38

Ver índice de abreviaturas utilizadas.

Anexo 40. Variables de clima de la microcuenca 7

Meses / Variables	E	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D
TMP_MX	30.25	31.35	32.78	34.21	33.15	31.36	30.65	31.22	30.53	29.96	29.90	30.01
TMP_MN	20.44	21.01	21.37	22.82	23.49	23.14	22.73	22.85	22.74	22.49	21.82	21.07
TMP_CV	0.02	0.02	0.02	0.02	0.03	0.02	0.02	0.02	0.02	0.02	0.01	0.02
DEWPT	19.33	17.02	17.21	20.48	21.97	22.91	22.56	22.85	23.16	23.03	21.89	20.21
WND_AV	2.65	2.90	2.58	2.47	2.12	2.02	2.35	2.14	1.87	1.90	2.14	2.79
SOLAR_AV	432.29	472.69	509.06	528.65	466.33	404.01	436.25	464.18	446.99	438.40	416.91	412.61

Ver índice de abreviaturas utilizadas.

Anexo 41. Variables de clima de la microcuenca 13

Meses / Variables	E	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D
<b>TMP_MX</b>	27.27	28.43	29.93	31.25	30.32	28.55	27.77	28.57	28.21	27.84	27.35	27.10
<b>TMP_MN</b>	19.36	19.48	19.65	20.90	21.58	21.53	21.24	21.27	20.97	20.88	20.47	19.89
<b>TMP_CV</b>	0.02	0.02	0.03	0.01	0.02	0.02	0.01	0.01	0.01	0.02	0.01	0.02
<b>DEWPT</b>	18.89	18.72	18.60	19.76	20.92	21.67	21.39	21.73	21.63	21.46	20.68	19.69
<b>WND_AV</b>	4.29	4.69	4.12	3.79	2.63	2.74	3.50	2.76	1.65	2.00	2.86	4.07
<b>SOLAR_AV</b>	459.89	502.87	541.55	562.44	496.08	429.80	463.75	489.97	475.36	466.33	443.55	438.40

Ver índice de abreviaturas utilizadas.

Anexo 42. Resultados de la simulación de la escorrentía y producción de sedimentos con cobertura actual en la microcuenca 7

Año	Variables	
	Escorrentía (mm)	Producción de sedimentos (ton/ha)
2003	122.66	87.64
2004	135.75	51.75
2005	133.24	55.58
2006	152.15	61.73
2007	9.99	2.31
2008	139.09	71.86
2009	30.10	8.98
2010	203.98	95.86
2011	125.30	76.63
2012	9.92	2.40
<b>Promedio</b>	<b>106.22</b>	<b>51.47</b>

Anexo 43. Resultado de la simulación de escorrentía y producción de sedimentos con cobertura potencial en la microcuenca 7

Año	Variables	
	Escorrentía (mm)	Producción de sedimentos (ton/ha)
2003	130.05	32.49
2004	139.05	25.88
2005	141.17	30.16
2006	146.12	25.81
2007	14.08	2.51
2008	143.37	28.72
2009	32.23	6.38
2010	190.64	31.36
2011	124.47	28.60
2012	12.38	2.34
<b>Promedio</b>	<b>107.36</b>	<b>21.43</b>

Anexo 44. Resultados de la simulación de la escorrentía y producción de sedimentos con cobertura actual en la microcuenca 13

Año	Variables	
	Escorrentía (mm)	Producción de sedimentos (ton/ha)
2003	102.67	1.03
2004	118.43	0.92
2005	97.54	0.74
2006	99.68	0.72
2007	12.91	0.04
2008	95.39	0.69
2009	16.97	0.06
2010	321.19	2.88
2011	99.98	0.92
2012	14.39	0.05
<b>Promedio</b>	<b>97.91</b>	<b>0.80</b>

Anexo 45. Resultado de la simulación de la escorrentía y producción de sedimentos con cobertura potencial en la microcuenca 13

Año	Variables	
	Escorrentía (mm)	Producción de sedimentos (ton/ha)
2003	100.84	0.96
2004	116.52	0.79
2005	86.96	0.58
2006	87.35	0.50
2007	10.46	0.00
2008	85.39	0.57
2009	14.01	0.01
2010	311.61	2.59
2011	96.43	0.78
2012	13.79	0.04
<b>Promedio</b>	<b>92.34</b>	<b>0.68</b>