

UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA
Facultad de Recursos Naturales y del Ambiente



TRABAJO DE DIPLOMA

**Comparación de métodos para estimar escurrimiento y producción de
sedimentos en la Microcuenca 7, de la Subcuenca III, de la Cuenca Sur
del Lago de Managua, Nicaragua**

Autores:

Br. Alberto Guillermo Izaguirre Delgado

Br. Aldo Ramón Largaespada Mayorga

Asesor:

MSc. Ing. Matilde Somarriba Chang

**Managua, Nicaragua
Diciembre, 2004**

INDICE GENERAL

	Contenido	Pág.
INDICE GENERAL		i
INDICE DE CUADROS		iii
INDICE DE ANEXOS		iv
Dedicatoria		vi
Agradecimiento		viii
Resumen		ix
Summary		x
I. INTRODUCCION		1
1.1.	Objetivo General	3
1.2.	Objetivos Específicos	3
1.3.	Hipótesis Nula	3
1.4.	Hipótesis Alternativa	3
1.5.	Antecedentes y Justificación	4
II. REVISION DE LITERATURA		8
2.1.	Técnicas para medir la erosión	8
2.2.	Métodos y herramientas de medición de escurrimiento y erosión	9
2.2.1.	A nivel de microcuenca o Sub cuenca	9
2.2.2.	A nivel de finca o ladera	10
2.2.3.	Métodos de medición a nivel de microcuenca o cuenca	10
2.2.3.1.	Aforos directos	10
2.2.3.2.	Aforos indirectos o continuos	10
2.2.3.3.	Muestreador de caudal y de sedimentos	11
2.3.	Método de estimación a nivel de micro cuenca o cuenca	11
2.3.1.	Método de transectos de cárcavas	11
2.3.2.	Método de Flujo en canales.	11
2.3.3.	Método Racional	12
2.4.	SWAT	12
III. MATERIALES Y METODOS		13
3.1.	Descripción del área de estudio	13
3.2.	Caracterización del medio físico natural	15
3.2.1.	Fisiográfica	15
3.2.2.	Geomorfología	15
3.2.3.	Uso de la tierra	16
3.2.4.	Tipo de suelo	17
3.2.5.	Erosión en los suelos de la microcuenca	18
3.2.6.	Zonas de vida del área de estudio	18
3.2.7.	Clasificación bioclimática de la Microcuenca 7	18
3.3.	Materiales Utilizados	19
3.4.	Metodología Aplicada	19
3.4.1.	Etapa de precampo	20

3.4.1.1.	Capacitación en la Escuela Panamericana El Zamorano	20
3.4.1.2.	Elaboración del protocolo	20
3.4.2.	Metodología utilizada para medir y estimar caudal y sedimentos	21
3.4.2.1.	Captación de sedimentos a través de un muestreador	21
3.4.2.2.	Método de Huellas máximas	22
3.4.3.	Metodología utilizada para estimar caudal	26
3.4.3.1.	Método de Flujo en canales	26
3.4.3.2.	Método Racional	27
3.4.2.	Etapa de campo	29
3.4.2.1.	Delimitación del área de la microcuenca 7	29
3.4.2.2.	Instalación de instrumentos	29
3.4.2.3.	Recolección y almacenamiento de la información	30
3.4.3.	Etapa de postcampo	31
3.4.3.1.	Procesamiento de la información	31
3.4.3.2.	Análisis de la información procesada	32
IV.	RESULTADOS Y DISCUSIÓN	37
4.1.	Muestreador por puntos	37
4.2.	Método de Huellas Máximas	40
4.3.	Calculo del Flujo en Canales	43
4.4.	Método Racional	47
V.	CONCLUSIONES	51
5.1.	Muestreador por puntos	51
5.2.	Método de Huellas Máximas	51
5.3.	Calculo del Flujo en Canales	51
5.4.	Método Racional	52
5.5.	Conclusiones Generales	52
VI.	RECOMENDACIONES	53
VII.	BIBLIOGRAFIA	54
	ANEXOS	55

INDICE DE CUADROS

Nº	Nombre	Pág.
Cuadro 1	Técnicas para la medición de la erosión a diferentes escalas (modificado de Lal, 1994 y Figueroa et al., 1985)	8
Cuadro 2	Clasificación de pérdidas de suelo FAO-PNUMA-UNESCO (1981)	9
Cuadro 3	Coordenadas en UTM para la microcuenca	13
Cuadro 4	Uso actual del suelo en la microcuenca 7 (año 2003)	16
Cuadro 5	Calculo de perdida de suelo por obtenidos con el captador de sedimentos (Muestreador por puntos)	38
Cuadro 6	Diferentes áreas para calcular la cantidad de sedimentos	38
Cuadro 7	Áreas en diferentes unidades	39
Cuadro 8	Áreas, perímetro mojado y Radio hidráulico, calculado para la microcuenca 7	43
Cuadro 9	Áreas y el área promedio	44
Cuadro 10	Calculo del radio hidráulico	45
Cuadro 11	Cálculo del coeficiente de escorrentía (C) en la microcuenca 7	48
Cuadro 12	Clasificación de la degradación de suelos causados por erosión hídrica (FAO, 1980)	58

INDICE DE ANEXOS

Nº	Nombre	Pág.
Anexo 1	Glosario de Términos	56
Anexo 2	Mapa de la Subcuenca III y las microcuencas en que se divide	62
Anexo 3	Mapa de Uso actual de la microcuenca 7	63
Anexo 4	Mapa de elevación digital de la microcuenca 7	64
Anexo 5	Mapa del área muestreada de la microcuenca 7	65
Anexo 6	Características de la serie San Ignacio	66
Anexo 7	Características de la serie Casa Blanca	67
Anexo 8	Tabla de Coeficiente de escorrentía "C"	68
Anexo 9	Tabla de valores de "n" propuestas por Horton	69
Anexo 10	Tabla Velocidad del flujo permisible v_n . En m/s para escurrimiento sin erosión	70
Anexo 11	Esquema del proceso de escorrentía	71
Anexo 12	Foto del Pluviógrafo	72
Anexo 13	Base de datos para calcular las áreas	73

INDICE DE MAPAS

Nº	Nombre	Pág.
Mapa 1	Mapa de la Subcuenca III y las microcuencas en que se divide	62
Mapa 2	Mapa de Uso actual de la microcuenca 7	63
Mapa 3	Mapa de elevación digital de la microcuenca 7	64
Mapa 5	Mapa del área muestreada de la microcuenca 7	65

DEDICATORIA

Alberto Guillermo Izaguirre Delgado

Dedico este estudio:

A nuestro señor (Jehová) a su hijo (Jesucristo) y al espíritu santo; porque han sido, son y serán los pilares fundamentales en mi vida, y por darme toda la sabiduría necesaria para poder alcanzar y terminar todos (as), mis metas, retos y sueños que me he propuesto hasta el día de hoy.

A mis padres Daniel Izaguirre Téllez y Yolanda Reyes Delgado, por haberme brindado todo su apoyo, tanto económico como moral, desde el momento que emprendí el largo camino de estudiar.

A mis dos hermanas Urss Lenina Izaguirre Delgado y Yolanda del Carmen Izaguirre Delgado, que de una forma u otra contribuyeron a que esta investigación se llevara con éxito.

A mi novia Xilonem Maria Calderón Vigil, por ser una de las personas que más me brindo su apoyo, estando lejos de mi hogar.

Aldo Ramón Largaespada Mayorga

Dedico este estudio a: Jehová Dios, a su hijo Jesucristo y al Espíritu Santo por que siempre han estado a mi lado en los momentos difíciles y me han ayudado a encontrar la calma, la fe, la Esperanza y el valor para enfrentar los desafíos y las pruebas que a mi han llegado y poder lograr mis objetivos y metas que me he propuesto.

A mis abuelos Graciela García Pérez y Ramón Largaespada Boza, porque siempre han sido una fuente inspiradora de trabajo para mi vida y por su infinidad de consejos que han hecho que mi vida sea mas llena de sabiduría, amor y conocimientos y de esta manera cuando me toca enfrentar una dificultad me ha sido más sencillo encontrar la solución a la misma.

A mi Tía Gloria Largaespada García, porque siempre he contado con su apoyo y su confianza y porque siempre ha sido como una madre para mi

A mi mamá porque aunque no este a mi lado siempre ha sido un apoyo moral y económico con el que siempre he contado y con el cual se que puedo contar.

AGRADECIMIENTO

A nuestro señor Jehová a su hijo Jesucristo y al espíritu santo por habernos dado la sabiduría y la fuerza necesaria para culminar esta etapa de nuestras vidas.

A la Ing. Matilde Somarriba Chang, porque fue una de las piezas principales en esta investigación, y sin su apoyo no hubiera sido posible la culminación de este estudio.

Al Consorcio Manejo Integrado de Suelos (MIS) por su apoyo técnico y financiero, especialmente a la Universidad Nacional Agraria de Nicaragua, la Escuela Nacional de Ciencias Forestales (ESNACIFOR) y la Escuela Agrícola Panamericana (El Zamorano), Honduras; por la capacitación en el uso del modelo SWAT.

Al Ing. Edmundo Rafael Umaña Gómez, por habernos brindado su apoyo técnico a lo largo de este estudio.

Al Ing. Fernando Mendoza Jara por su asesoramiento y ayuda en el uso del manejo de los Sistemas de Información Geográfica.

A la Familia Calderón Vigil por el apoyo que me brindo desde el inicio hasta el final de esta investigación, y que gracias a ellos logre finalizar este estudio.

Al mi amigo Harold Mariano Álvarez Alarcón, que en estos últimos meses me brindo todo su apoyo.

RESUMEN

El propósito del presente estudio fue comparar el uso del Modelo SWAT (Soil and Water Assessment tool), con otros modelos y ecuaciones de predicción de escorrentía y erosión. El estudio se realizó en la microcuenca 7, de la Sub Cuenca III de la Cuenca Sur del lago de Managua; Diseñado por el departamento de Agricultura de los Estados Unidos y la Universidad de Texas el SWAT, posee una interfase con Arc View, un programa de SIG (Sistema de información Geográfica), el cual hace más fácil su manejo y utilización.

Para la obtención de los datos del balance hídrico se colocó un Pluviógrafo en la parte alta en la microcuenca 7, de la Subcuenca III de la cuenca Sur del Lago de Managua, y una estación de aforo en la parte baja de descarga, que consistió en la construcción de un canal revestido en la zona de descarga y un captador de sedimentos ubicado en el mismo.

Los resultados de los datos obtenidos del pluviógrafo que se instaló en la microcuenca 7, fueron utilizados para estimar la escorrentía con métodos tradicionales como el de Huellas máximas, método de flujo en canales y el método Racional. Se midió el área de la sección transversal de la cárcava para calcular la sedimentación en el cauce. Al final se compararon los resultados obtenidos con estos métodos y los obtenidos con el Programa SWAT. Debido al robo del captador de sedimentos por vándalos que circulan sobre el cauce, no fue posible hacer más que una medición de escurrimiento y sedimentos.

Los resultados de producción de agua y sedimentos del uso actual y potencial del suelo en la microcuenca 7, simulados por el SWAT para el año 2003, fueron para producción de agua: 122.66 mm para uso actual y 130.05 mm para uso potencial y para producción de sedimentos tenemos 87.64 ton/ha para uso actual y 32.49 ton/ha para uso potencial (Gutiérrez, M. 2003).

Comparando los resultados del SWAT, con los métodos evaluados (Muestreador por puntos, Método de huellas máximas, Método de flujo en canales y Método Racional), se tuvieron los siguientes resultados: en el muestreador por puntos, para un evento de lluvia (1 precipitación), en un área de 26.554 ha (área de captación), se erosionaron 1.9 ton. En el método de huellas máximas nos dio un volumen de suelo perdido de 95.14 Ton/ha. Para el caso de la medición de la cantidad de agua en caudales con el método de flujo en canales el caudal de la microcuenca es de 7.8 m³/seg. Y en el caso del método racional el caudal para un Tc de 0.5 horas fue de 30.426 m³/seg, para un periodo de retorno de 10 años y el caudal para 6 horas fue de 5.059 m³/seg, para el mismo periodo de retorno.

SUMMARY

The main objective of this study was to compare the results of a simulation Model SWAT (Soil and Water Assessment tool), with other runoff and erosion prediction models. This study was developed in the micro basin 7, Sub basin III of the Managua Lake South Watershed. The SWAT model was designed for the United States Department of Agriculture (USDA) and the University of Texas. SWAT has an inter phase with Arc View, a GIS program (Geographic Information System), this makes easier its use and operation.

To obtain the precipitation data to calculate the water balance a Pluviograph was established in the upper part of the micro basin 7, and flume station was established in the lower part, at the outlet of the micro basin. This station consisted in an impermeable channel that was built at the outlet and a sediment trap system.

The data obtained from the pluviograph were used to estimate runoff with traditional methods. These methods were: water flow in channels and the rational method. The cross-sectional area of the gully was measured to calculate sedimentation, by difference of area. Finally the results obtained with these methods were compared with the results of a simulation done with SWAT. Due to the sampling sediment trap was stolen by burglars that travel along the gully; it was just possible to collect the first event that produced runoff and sediments.

The results of water and sediment production under current land use and potential land use in the micro basin 7 yield by SWAT for the year 2003 were as follows: for runoff, 122.66 mm under current land use and 130.05 mm to potential land use. The sediment production was 87.64 ton/ha for the first case and 32.49 ton/ha for the latest (Gutiérrez, M. 2003).

Comparing the SWAT results with the other methods applied in this study the following results were found: the sampling sediment trap, for a single precipitation event in an area of 26.554 ha (catchment's area) were eroded 1.9 tons of soil. The water flow in channels method yields a volume of soil loss of 95.14 Ton/ha. In the case of estimating watershed peak discharge with the method of channel flux the result was 7.8 m³/seg. And applying the rational method the for a time of concentration of 0.5 hours the peak runoff discharge was 30.426 m³/seg, for a return period of 10 years and for a 6 hours time of concentration the peak runoff discharge was 5.059 m³/seg for the same return period.

I. INTRODUCCION

Los suelos son la base natural donde crecen las plantas que producen alimentos para la humanidad, animales y materia prima para la industria (Brooks et al., 1991). Las aguas naturales, por otro lado, cubren todas las necesidades hídricas del ser humano. La erosión no solo ocasiona el arrastre de los suelos y las malas cosechas; también se manifiesta en daños en obras y vías, en la sedimentación de embalses, en la destrucción de viviendas, cultivo y en la torrencialidad de ríos y quebradas (CENICAFE, 1975). De la tierra usada para la producción de cultivos a nivel mundial, se ha estimado que cerca de 30 millones de hectáreas se ha vuelto inútiles para la producción y una cantidad similar sigue la misma tendencia (Millar et al., 1971).

La erosión se define como la cantidad de suelo retirado por la acción dispersante de las gotas de lluvia o por el viento (Kirkby y Morgan, 1984). La erosión tiene como objetivo conformar la superficie terrestre y este proceso ha existido desde que la tierra fue formada (Millar et al, 1971).

La erosión producida por el agua causa cinco tipos diferentes de pérdida o daños. Estos son: pérdida del agua causante por la erosión, pérdida del suelo arrastrado por la erosión lo cual frecuentemente deja de ser de valor en la producción de cultivos, la formación de zanjas y barrancos, la parcelación de los campos en pedazos irregulares (producto de la formación de surcos y cárcavas) y la sedimentación que ocurre cuando el suelo removido por la erosión se deposita en los lechos de ríos, puertos y almacenamientos disminuyendo la capacidad hidráulica de estos y favoreciendo las inundaciones (Millar et al. 1971).

Existen diferentes tipos de modelos para predecir la erosión, estos han sido utilizados desde la creación de la Ecuación Universal de Pérdida de suelos (USLE) y sus versiones modificadas y revisadas, MUSLE y RUSLE, respectivamente (Brooks et al., 1991). Estos últimos, son modelos computarizados que están basados en los principios de USLE (erodabilidad del suelo, erosividad de la lluvia, topografía, el manejo del suelo), sin

embargo, algunos cálculos de parámetros empíricos han cambiado a cálculos basados en procesos iterativos (Laflen et al., 1991).

Es necesaria la aplicación de modelos para el cálculo de pérdida de suelos y agua, cuya energía cinética máxima se produce en las zonas más bajas de las áreas por donde se produce el escurrimiento, como por ejemplo una cuenca hidrográfica. El estudio es de mayor importancia si en esta cuenca están ocurriendo pérdidas de suelo en las partes altas y se están produciendo grandes inundaciones en las partes bajas y esta pérdida es generada porque existen zonas en dicha área donde se producen actividades agropecuarias mal diseñadas o con prácticas de manejo inapropiadas.

1.1. **Objetivo General:**

- ❖ Comparar los resultados del modelo SWAT (Soil and Water Assessment Tool), con respecto a los de otros modelos de estimación de escurrimiento, en la microcuenca 7 de la Subcuenca III de la Cuenca Sur del Lago de Managua.

1.2. **Objetivos Específicos:**

- ❖ Comparar los resultados del método racional, los resultados del método de huellas máximas y los resultados del método de flujo en canales, con los resultados generados por el programa S.W.A.T.
- ❖ Determinar el caudal y la cantidad de sedimentos que genera la microcuenca 7 de la Subcuenca III de la Cuenca Sur del Lago de Managua, con un método de medición directa (muestreador de sedimentos).
- ❖ Determinar el grado de precisión del Modelo S.W.A.T., en comparación con otros modelos (Método de Huellas Máximas, Método Racional y Flujo en canales).

Las hipótesis del trabajo fueron las siguientes:

- 1.3. **Hipótesis Nula:** El modelo SWAT (Soil and Water Assessment Tool), predice en un rango aproximado a los otros métodos, el impacto del manejo del suelo en la generación de sedimentos y los caudales de una cuenca hidrográfica.
- 1.4. **Hipótesis Alternativa:** Ninguno de los otros métodos aplicados predice el impacto del manejo del suelo en la generación de sedimentos y los caudales de una cuenca hidrográfica, en un rango aproximado a los resultados del SWAT.

1.5. Antecedentes y Justificación

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 alimento a la humanidad, animales, y la materia prima de las industrias (Brooks et al., 1991).

Un centímetro de suelo tarda cientos y hasta miles de años en formarse; pero puede ser arrastrado por un solo aguacero o viento fuerte (Aschroft y Brown, 1995). La erosión no solo ocasiona el arrastre de los suelos y las malas cosechas; también se manifiesta en daños en obras y vías en la sedimentación de embalses, en la destrucción de viviendas, cultivo y en la torrencialidad de ríos y quebradas, todo esto ha llevado a que el hombre desarrolle modelos y métodos para medir la pérdida de suelo para tratar de buscar una solución a este problema.

La entrada y salida del agua en el área de captación de una cuenca han constituido una incógnita para la determinación del balance hídrico de la cuenca, el cual se ve influenciado por una serie de factores, siendo la cobertura vegetal el más importante.

Los primeros estudios cuantitativos de los procesos erosivos los inició el Servicio Forestal de Estados Unidos en 1915. El interés generalizado de los peligros de la erosión del suelo en la década de los años veinte y principios de la década de los años treinta, dieron como resultado una mayor investigación científica sobre erosión; Los resultados obtenidos durante estos primeros trabajos fueron de carácter cualitativo (Kirkby y Morgan, 1984).

A medida que se dispuso de más datos y se describieron los factores que contribuyen al proceso erosivo, se formularon ecuaciones de factores múltiples.

El análisis de estos datos condujo a la formulación de la ecuación de mayor uso en la actualidad sobre la predicción de pérdidas de suelos; Esta ecuación es conocida con el nombre de "Ecuación Universal de Pérdidas de Suelos" (EUPS), en inglés "Universal Soil Loss Equation" (USLE) [Kirkby y Morgan, 1984].

En el transcurso del tiempo surgieron otros modelos basados en la EUPS, tal es el caso de la Ecuación Universal de Pérdidas de Suelos Modificada (MUSLE), la cual estima el rendimiento de sedimentos en cuencas utilizando un factor de escurrimiento en vez del factor de energía pluvial de la EUPS.

De esta manera han surgido diversos modelos, algunos de manera general, con el mismo objetivo de la EUPS [modelo SLEMSA, EUROSEM, modelo de Erosión Eólica (WE), Simulador de Recursos Hidráulicos en Cuencas Rurales (SWRRB), Contaminación Agrícola por Fuente Indeterminada (AGNPS)], otros son modelos que se centran no solo en las pérdidas de suelo, sino también en la interacción de los procesos clima-planta-manejo del suelo, para conocer el impacto de la erosión en las cosechas, tal es el caso del modelo Calculador de Impacto Erosión-Productividad (EPIC) [Kirkby y Morgan, 1984; Jones et al., 2000].

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 Wischmeier (Murillo, 1990).

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].

La microcuenca 7 actualmente tiene un problema y es la constante pérdida de suelo, por erosión tanto eólica como hídrica, siendo la erosión hídrica la causante de mayor pérdida de suelo, esta microcuenca está dividida por varios sistemas de cultivos y la falta de prácticas de conservación de suelos hacen que sea vulnerable a la erosión del mismo.

En la microcuenca 7 los volúmenes de agua y sedimentos generados, siguen un curso determinado, 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, esto trae muchos problemas de inundación en la ciudad y deposición de grandes cantidades de sedimentos en el lago de nicaragua.

En Honduras se realizó una modelación en la microcuenca del Río Cumes, Jesús de Otoro, Intibuca en el 2002. El trabajo se basó en la determinación de la producción de agua y sedimentos, modelándose para 10 años, tomando en cuenta el tipo y uso actual del suelo. 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).

Hoy en día es posible utilizar modelos digitales para predecir pérdidas de suelo, cantidad de caudal de agua que se obtendrán en las partes mas bajas, cantidad de precipitación esperada para los periodos lluviosos futuros, ya que este modelo puede programarse con datos estadísticos de la zona y además está asistido por un sistema de información geográfico (SIG), con el cual simula el transporte de los sedimentos, la hidrología, localizan los puntos donde se está produciendo la erosión del suelo y la cantidad y calidad de agua que se produce en una microcuenca.

El caudal de la microcuenca 7 es de carácter efímero ya que sólo se presenta en la época de lluvia, en los meses de Mayo a Octubre, esto evita que se dé un eficiente aprovechamiento de las fuentes hídricas superficiales, ya sea para la agricultura o para el consumo humano. Por lo tanto la recolección de datos necesarios para la validación del modelo SWAT, solo se realiza en periodo de lluvia, centrando la importancia de este estudio en los procesos de erosión y escurrimiento que suceden en la microcuenca 7.

Este trabajo servirá como una pauta para futuros estudios que tengan como objetivo evaluar los procesos hidrológicos en una cuenca pequeña. Y de esta forma servir de base para el diseño de prácticas que reduzcan 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.

El propósito de este estudio consistió básicamente en tomar datos de la zona de estudio donde suceden los procesos de erosión y escurrimiento, analizar estos datos durante el período de lluvia con métodos tradicionales ya validados (Método Racional y huellas máximas), para obtener resultados que finalmente se compararon con los resultados del programa (S.W.A.T.). Al comparar los resultados obtenidos mediante los métodos tradicionales y los resultados obtenidos a través de la simulación con el programa S.W.A.T., se analizó, cualitativamente, su veracidad y porcentaje de error posible con respecto a los datos reales obtenidos mediante métodos tradicionales.

El programa S.W.A.T., ha sido aplicado y se hicieron simulaciones de producción de agua y de sedimentos en la microcuenca 7 para un periodo de diez años, por tal razón es importante corroborar si los resultados de esta aplicación son razonables

Es preciso hacer la actualización de la información del medio físico-natural de la microcuenca 7 con el objeto de confirmar que las actividades identificadas en el estudio agro ecológico y de drenajes pluviales de la subcuenca III realizado por Interconsult para la Alcaldía de Managua, sean las que actualmente se realizan en la microcuenca.

II. REVISIÓN DE LITERATURA

2.1. Técnicas para la medición de la erosión

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 1.

Cuadro 1. Técnicas para la medición de la erosión a diferentes escalas (modificado de Lal, 1994 y Figuroa et al., 1985).

Escala	Tamaño	Variable a medir	Técnica	Autores
Parcela pequeña de erosión	1-2 m ²	Escorrentía, pérdida de suelo, infiltración	Simulador de lluvias	Meza, 1999
Micro parcela de erosión	1-10 m ²	Escorrentía, pérdida de suelo, infiltración, desgaste de la superficie, nutrientes	Parcela de escorrentía, estacas	Almendarez, 1999
Parcelas de campo	10- 100 m ²	Escorrentía, pérdida de suelo, infiltración, distancia de transporte de sedimentos, desgaste de la superficie, nutrientes	Parcela de escorrentía, estacas, tintes fluorescentes, sistema multividivisor	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	Thurrow 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
Micro cuenca	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

Cuadro 2. Clasificación de pérdidas de suelo FAO-PNUMA-UNESCO (1981).

Pérdidas de suelo	Grado de erosión hídrica
< 10	Ninguna o ligera
10 – 50	Moderada
50 – 200	Alta
> 200	Muy alta

2.2. Métodos y herramientas de medición de escurrimiento y erosión.

Los métodos que se usan para hacer una evaluación cuantitativa del escurrimiento y la erosión de suelos se pueden agrupar en:

1. Métodos de medición.
2. Métodos de estimación.

Entre los métodos de medición o estimación del escurrimiento se pueden distinguir aquellos que se aplican a nivel de finca o de laderas. Identificados como métodos de medición o estimación de erosión “on-site”, o sea en el sitio donde ocurre el proceso erosivo (finca o ladera). Y los métodos que se aplican para medir tanto la escorrentía como la erosión a nivel de cuencas. También conocidos como métodos de medición “off- site”, o sea en la salida de la micro cuenca, sub cuenca o cuenca (Somarriba, M. 2003).

En este sentido se expone a continuación las referencias para los primeros, puesto que el presente estudio fue dirigido a la aplicación de métodos a escala de microcuenca. Estos últimos son explicados con mayor detalle.

2.2.1. A nivel de micro cuenca o Sub cuenca

Igualmente, existen otros métodos convencionales para calcular escurrimiento y erosión a nivel de micro cuenca o Sub cuenca. Los métodos de medición requieren de infraestructura y equipos que resultan muy costosos. De ahí que muchas veces se prefiere utilizar métodos de estimación los cuales se basan principalmente en el uso de modelos hidrológicos. Estos

modelos requieren de una serie de datos que caracterizan la cuenca a ser evaluada. Por esto es necesario contar con suficiente base de información para poder aplicarlos apropiadamente.

2.2.2. A nivel de finca o laderas

La estimación de tasas de erosión y escorrentía en finca o laderas, puede realizarse con varios métodos sencillos, que van desde “Perfil de suelos” hasta “Rendimientos Históricos”. Así como el uso de varillas de hierro para medir erosión laminar hasta aplicación del Método VADEA para evaluar erosión en surcos y cárcavas. Para mayor detalle consultar el Manual de métodos Sencillos para medir erosión hídrica (Somarriba, M. et al. 1999).

2.2.3. Métodos de medición a nivel de micro cuenca o cuenca

Aforar es medir un caudal. En hidrología superficial puede ser necesario medir desde pequeños caudales (unos pocos litros/seg.) hasta ríos de muchos m³/seg. Distinguimos dos tipos de aforos:

2.2.3.1. Aforos directos: son todos aquellos que con algún tipo de aparato o procedimiento, medimos directamente el caudal.

2.2.3.2. Aforos indirectos o continuos: son todos aquellos en el cual medimos el nivel del agua en el cauce, y a partir del nivel estimamos el caudal.

La medición del caudal de las corrientes naturales nunca puede ser exacta debido a que el canal suele ser irregular y por lo tanto es irregular la relación entre nivel y caudal. Los canales de corrientes naturales están también sometidos a cambios debidos a erosión o depósitos. Se pueden obtener cálculos más confiables cuando el caudal pasa a través de una sección donde esos problemas se han limitado. Para ello se podría simplemente alisar el fondo y los lados del canal, o recubrirlos con mampostería u hormigón o instalar una estructura construida con ese fin.

2.2.3.3. Muestreador de caudal y de sedimentos

La medición de caudales y sedimentos a nivel de cuencas, puede hacerse con equipo instalado permanentemente en el curso principal de la cuenca, para muestrear los caudales y sedimentos en períodos de tiempo establecidos.

El muestreador por puntos está diseñado para coleccionar agua y sedimentos a diferentes alturas del tirante hidráulico en el curso de agua. De tal forma que es posible medir las subidas de nivel por evento de lluvia. Igualmente las muestras al captar sedimentos, sirven para determinar las tasas de erosión que ocurren a nivel de la microcuenca o subcuenca, a la cual corresponde el curso de agua medido.

2.3. Método de estimación a nivel de micro cuenca o cuenca

2.3.1. Método de transectos de cárcavas

El método de transecto de cárcava consiste en la evaluación del cambio en la sección transversal de una cárcava por acción de la socavación de la escorrentía durante un periodo lluvioso (Somarriba, et al. 2002).

Conociendo la densidad aparente del suelo es posible calcular la masa del suelo removido durante el periodo estudiado. De esta forma se determina la evolución de la máxima huella de erosión en el terreno. Con la metodología se cuantifica la evolución de la cárcava en sus dimensiones de ancho y profundidad y a la vez determinar la pérdida de suelo expresada en volumen y peso.

2.3.2. Método de Flujo en canales.

Este método se utiliza para determinar el caudal para cárcavas, y se recomienda para cárcavas donde se observan las huellas máximas del escurrimiento; se basa en obtener datos básicos con los que se aplica la fórmula de Manning para el cálculo de caudales en conductos que trabajen a gravedad.

Los datos preliminares necesarios para determinar si el punto seleccionado cumple con las condiciones para la utilización de la fórmula de Manning son, velocidad del flujo, diámetro, tirante o altura de agua en el conducto y pendiente del tramo escogido.

2.3.3. Método Racional

Este método se utiliza para determinar el caudal para un periodo de retorno, el método supone que el caudal de escorrentía directa toma un valor de caudal máximo correspondiente a una lluvia de intensidad I , sobre un área de drenaje A , que se mantiene hasta que se llegue al tiempo de concentración T_c , para el que toda la cuenca contribuye con escorrentía hasta el punto de salida.

2.4. SWAT

Soil and Water Assessment Tool (SWAT), por sus siglas en Inglés, es un modelo computarizado que permite predecir el impacto del manejo del suelo en la generación de sedimentos y la regulación del agua en cuencas hidrográficas. La interfase SWAT, fue creada como una extensión de Arc View (Sistemas de Información Geográfica), esto quiere decir que es un programa independiente que aprovecha las características disponibles en otras extensiones de Arc View. Este es un modelo que permite predecir el impacto del manejo de la cobertura del suelo en la generación de sedimentos y la regulación del agua en cuencas hidrográficas.

El programa se basa en un balance hídrico, determinando la entrada, salida y almacenamiento de agua en la cuenca. Para realizar las predicciones, el SWAT divide la cuenca hidrográfica en pequeñas subcuencas, con el objetivo de mejorar la exactitud de los cálculos que se realizan al interior del programa. Al dividir la cuenca en pequeñas subcuencas es posible calcular con mayor precisión los caudales y los sedimentos presentes. Con el fin de hacer más fácil y exactos los cálculos, el SWAT trabaja por Unidades de Respuesta Hidrológica (URH), las cuales son el cruce de los diferentes tipos de suelo con las diferentes coberturas o usos del suelo y a cada una de estas combinaciones les atribuye un número para diferenciarlas de las demás.

III. MATERIALES Y METODOS

La Cuenca Sur ha sido estructurada en cuatro subcuencas, en las cuales se encuentra la subcuenca III donde se ubica la microcuenca 7 (lugar del estudio) (IRENA. 1983). Esta subcuenca es la de menor tamaño, en comparación con las microcuencas vecinas. Sus límites son: al Norte con parte del Lago de Managua, al Sur con el poblado de El Crucero y el volcán Santiago, al Este con el parte aguas de las Sierras de Managua y al Oeste con El Crucero y parte del municipio de Managua.

3.1 Descripción del área de estudio

Ubicación de la microcuenca

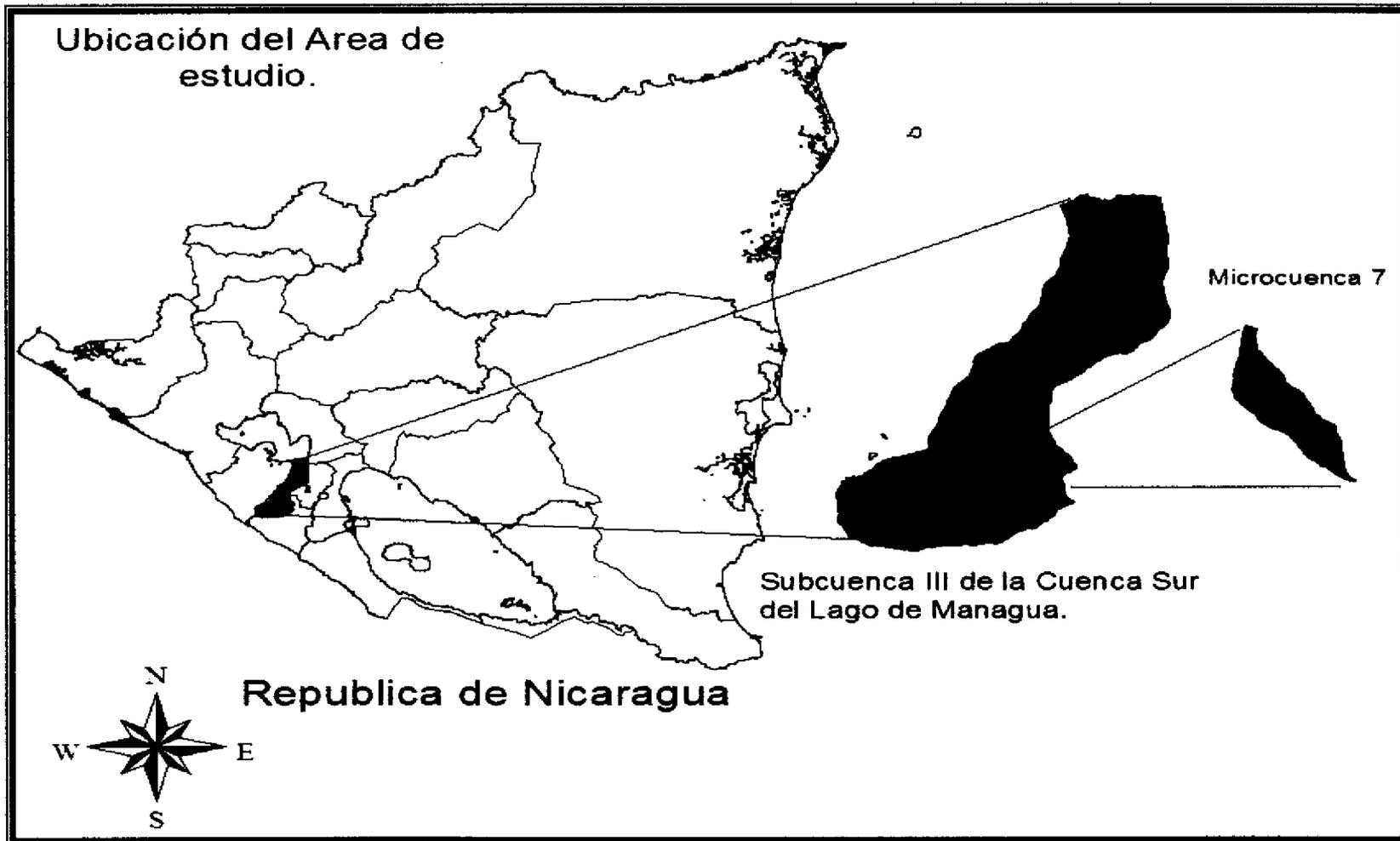
Para este estudio se tomaron en cuenta los siguientes datos: La microcuenca 7 tiene una superficie de 449 hectáreas, para lograr circunscribir el área específica de captación del cauce donde se colocó el captador de sedimentos, la microcuenca se dividió en un subsistema de drenaje con un área de 266.81 hectáreas. Esta se encuentra localizada en el Sureste de la subcuenca III dentro del municipio de Ticuantepe, limita con las siguientes microcuencas: al Norte con las microcuencas 9 y 10, al Sur y Oeste con la microcuenca 12 y al Este con el volcán Santiago (ver figura 1).

La microcuenca 7 de la Subcuenca III de la Cuenca Sur del Lago de Managua se encuentra ubicada entre las coordenadas UTM indicadas en el Cuadro 3.

Cuadro 3. Coordenadas en UTM de la microcuenca 7

Microcuenca 7		
Coordenadas	X	Y
Mínimo	587,453.71	1,324,755.19
Máximo	585,528.23	1,328,404.75

Figura 1. Ubicación del área de estudio



3.2. Caracterización del medio físico natural

3.2.1 Fisiografía

Según con el mapa de Catastro y Recursos Naturales (1972) la microcuenca 7 forma parte de la provincia volcánica del pacífico, esta comprendida dentro de la sub provincia 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].

3.2.2. Geomorfología

De acuerdo con el estudio efectuado mediante la interpretación de fotografías aéreas de 1996 a escala 1:40,000, se logró identificar cinco unidades geomorfológicas, de las cuales dos de ellas forman parte de la microcuenca en estudio (microcuenca 7), éstas son: Planicie volcánica y Pie de monte volcánico (INTERCONSULT, 2002), que se describen a continuación.

➤ **Planicie volcánica:** Comprende gran parte de la microcuenca 7 según el mapa geomorfológico. 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.

3.2.3. Uso de la tierra

Esta microcuenca (microcuenca 7), abarca un área de 266.81 hectáreas, esta se encuentra ocupada mayoritariamente por cultivos anuales y semiperennes. Dentro de los cultivos anuales encontramos: frijol y maíz, y en ocasiones estos cultivos se encuentran asociados con otros. Y dentro de los cultivos semiperennes sobresale principalmente la piña, ocupando la mayor cantidad de superficie. A continuación en el cuadro 4 se detalla el uso del suelo (Gutiérrez, M. 2003).

Cuadro 4. Uso actual del suelo en la microcuenca 7 (Gutiérrez, M. 2003).

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

3.2.4. Tipo de suelo

En la microcuenca 7 encontramos las siguientes series de suelo: series San Ignacio y Casa Blanca, estos suelos se encuentran ocupados por cultivos anuales y semi perennes.

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. Estos suelos fueron clasificados en el orden de Andisoles, dichos suelos se forman en las primeras etapas de desarrollo por la descomposición de materiales volcánicos 0.72 km² de los suelos de la subcuenca III son del orden Molisol en la parte baja (Velásquez, 1998).

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 Anexo 1 se describen las características físicas de esta serie de suelo (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 mólico que descansa sobre un horizonte cámbico; pertenece al subgrupo Mollic Haplustands. En Anexo 2 se describen las características físicas de esta serie de suelo (INTERCONSULT, 2002).

3.2.5. Erosión en los suelos de la microcuena

En la microcuena 7 prevalecen principalmente cuatro tipos de erosión, estas son:

- ❖ Erosión leve
- ❖ Erosión moderada,
- ❖ Erosión fuerte y
- ❖ Erosión 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.
- ❖ En la parte baja es severa formando cauces-caminos (INTERCONSULT, 2002).

3.2.6. Zonas de vida del área de estudio

De acuerdo a la clasificación bioclimática, Holdrige define las zonas de vida de la microcuena 7 en dos tipos: bosque húmedo premontano tropical en la parte alta y bosque seco subtropical, transición a húmedo en la parte baja (INTERCONSTUL, 2002).

3.2.7. Clasificación bioclimática de la Microcuena 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 periodo canicular es definido (15 a 25 días secos) (INTERCONSTUL, 2002).

Bosque seco subtropical, transición a húmedo.

Los rangos de precipitación oscilan entre los 1,200 a 1,600 mm/anuales, similar a la anterior, pero difieren en temperatura por ser más caliente 25.5 – 26.5 °C, y en periodo

canicular que es acentuado y mas prolongado en comparación con el anterior (25 a 40 días secos) (INTERCONSTUL, 2002).

3.3. Materiales utilizados

- GPS (Sistema de Posicionamiento Global).
- Pluviografo electrónico (Modelo HOBO RG-2).
- Herramientas y Materiales de Construcción: Palas, Alicates, Martillo, Cinta Métrica, Clavos, Piedra Cantera, Cemento, Hierro, etc.
- Captador de sedimentos.
- Computadora con las herramientas: el programa ArcView con las extensiones: Spatial Analyst, 3D Analyst, X Tool, Hydrologic modeling versión 1.1, y SWAT,
- Manual de S.W.A.T., (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 de Agroecológico y de Drenajes Pluviales realizado en el 2002 en la subcuenca III:
 - Mapa del tipo de suelo.
 - Mapa del uso actual del suelo.
 - Mapa del uso potencial del suelo.
 - Mapa de erosión.
 - Mapa de pendientes.
 - Mapa de elevación digital (DEM).
 - Mapa de drenajes.

3.4. Metodología aplicada

Este estudio se realizó basado en la aplicación del Modelo de simulación SWAT, con el objetivo de comparar este modelo con otros métodos de estimación de escurrimiento conocidos (Método de Huellas Máximas y Método Racional). Para ello se recabó información existente y se definieron los métodos a aplicar en las siguientes etapas que describimos a continuación.

3.4.1. Etapa de precampo

3.4.1.1. Capacitación en la Escuela Panamericana El Zamorano, Honduras del modelo S.W.A.T. (Soil and Water Assessment tool), que se empleo en el presente estudio.

Para la realización de este trabajo se realizo un viaje a Honduras a la Escuela Panamericana El Zamorano, donde se nos impartió una capacitación, esta capacitación, consistió en explicar el funcionamiento del programa SWAT, sus usos, la base de datos que este programa requería para poder ser utilizado, las ventajas y desventajas que presentaba este programa, las interfaces con el cual el programa puede trabajar (Arc View). Además compartir experiencias de otros estudios similares que se habían realizado en Honduras (el programa ha sido corrido y validado en ese país).

Esto se hizo con el propósito de conocer el funcionamiento del programa y de tener una mejor idea del trabajo que se realizaría aquí en Nicaragua. Cabe mencionar que se realizaron ejercicios prácticos con el programa, tomando de ejemplo cuencas de Honduras y Nicaragua, en el cual se pudo apreciar como el programa trabaja y las predicciones que este realizó para las diferentes cuencas que se tomaron como ejemplo.

3.4.1.2. Elaboración del protocolo utilizando las siguientes fuentes de información:

- ⊕ Centro de Información y Documentación Agropecuaria (CENIDA).
- ⊕ Biblioteca de FARENA- UNA.
- ⊕ Ministerio del Ambiente y de los Recursos Naturales (MARENA)
- ⊕ Sitios web con publicaciones e instituciones de investigación en diferentes países.

3.4.2. Metodologías utilizadas para medir escurrimiento y producción de sedimentos en la micro cuenca 7

Las metodologías empleadas se agrupan en métodos para estimar y métodos para medir escurrimiento y erosión, a nivel de cuencas. Esto se ilustra en la figura 2.

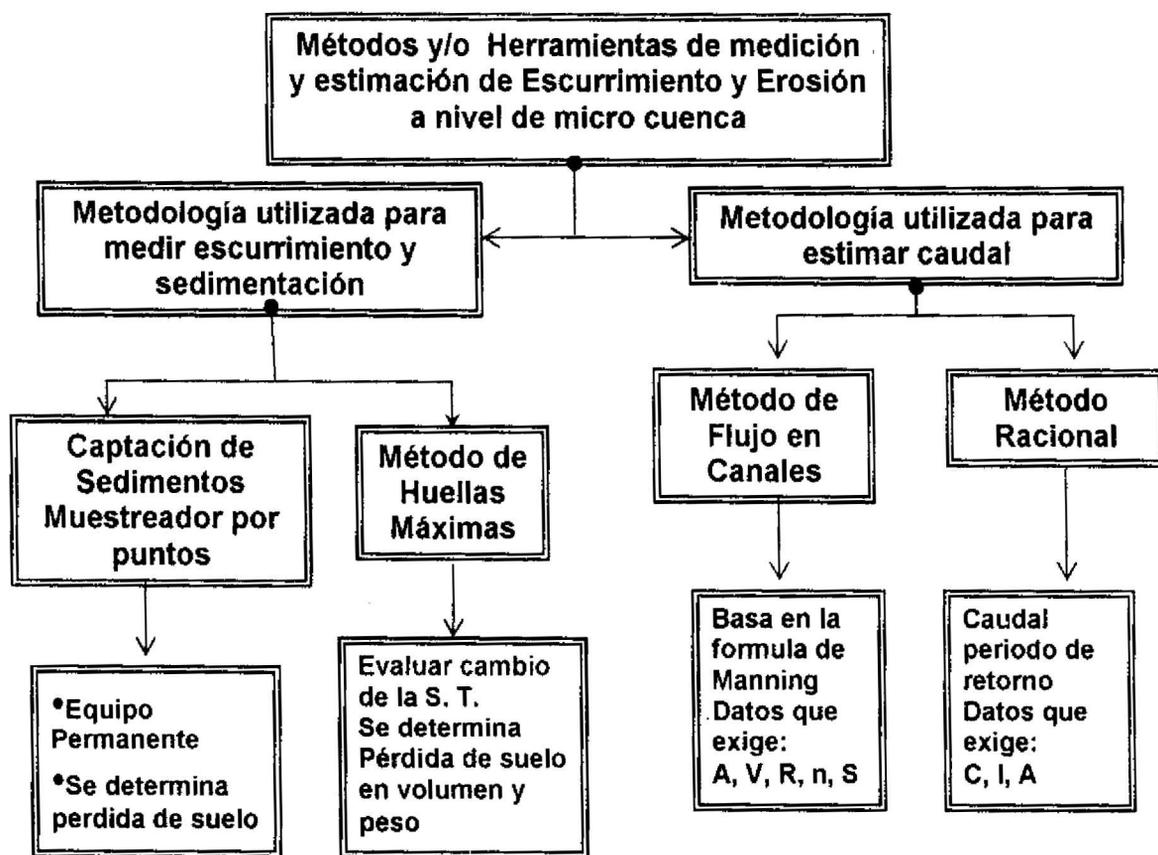


Figura 2. Métodos y/o Herramientas de medición y estimación de Esgurrimiento y Erosión a nivel de micro cuenca.

3.4.2.1. Captación de sedimentos a través de un muestreador

El muestreador de puntos permanece en un lugar fijo de la corriente (cauce), y toma muestras a diferentes niveles, cada 10 cm, de distancia entre tubo durante el tiempo que tarda la botella en llenarse, para obtener muestras a diversas profundidades del curso del agua es el empleo de muestreadores automáticos que toma una muestra a una profundidad predeterminada de la corriente, un ejemplo típico es el que utiliza una botella y dos tubos

doblados. Los modelos comerciales utilizan tubos de cobre, doblados a propósito, pero se puede utilizar un modelo más sencillo, constituido por un tubo de plástico, fijado a un marco rígido, para que se mantenga en un sitio. La botella empieza a llenarse, cuando la profundidad de la corriente alcanza el punto A, y comienza el flujo de sifón a la botella; se para cuando la profundidad de la corriente se eleva al punto B que es la salida de la tubería que expelle el aire. La amplitud de la toma de muestra se controla ajustando la distancia entre los puntos A y B. En su variante más sencilla los tubos de entrada y expulsión están curvados en forma de U, esto significa que la corriente en el muestreador está en ángulo recto con el curso del agua, lo cual puede obstaculizar la concentración de sedimentos, un modelo más perfeccionado tiene dos tubos con una segunda curva para dirigir las aguas arriba hacia la corriente (León, M. 2003).

3.4.2.2. Método de Huellas Máximas

El conocimiento y dominio práctico de los métodos de cuantificación en la pérdida de suelos por efecto de la Erosividad de la lluvia y la escorrentía, así como la evolución de las cárcavas en su profundidad y anchura, son determinantes para emprender las técnicas de control de las mismas.

El método de transecto de cárcava consiste en la evaluación del cambio en la sección transversal de una cárcava por acción de la socavación de la escorrentía durante el periodo lluvioso.

Conociendo la densidad aparente del suelo es posible calcular la masa del suelo removido durante el periodo estudiado. De esta forma se determina la evolución de la máxima huella de erosión en el terreno. Con la metodología se cuantifica la evolución de la cárcava en sus dimensiones de ancho y profundidad y a la vez determinar la pérdida de suelo expresada en volumen y peso.

a) Descripción de la metodología

La cárcava a evaluar es medida longitudinalmente y dividida en transectos de igual dimensión. O sea un transecto en una parte de la longitud de la cárcava y posee dos secciones transversales: la sección transversal al inicio y la sección transversal al final.

La longitud de los transectos depende de la regularidad de la sección trasversal, pudiendo variar de 10 a 20 m. Es decir si las secciones son bastante irregulares la longitud será mas corta, los limites de cada transecto son marcados con estacas, y se disponen a una distancia a la orilla de la cárcava de 3.0 – 2.5 m. En ambos márgenes. Esto permite mantener las marcas para el mismo sitio en dos momentos diferentes del periodo lluvioso, sin peligro de que un derrumbe las desaparezca. Una distancia mayor sería recomendable si el ancho de la cárcava es mayor de 10 m dada su mayor capacidad de causar derrumbe en los márgenes.

Un recorrido de campo en la zona permitió establecer el área de aporte de escorrentía superficial a la cárcava. Además se hizo uso del modelo de elevación digital para delimitar el área de captación de la cárcava.

b) Medición de la sección transversal

Para medir la distancia de la sección transversal se utilizo: cinta métrica, y mecate o nivel de burbuja. A continuación se explica el procedimiento que se hizo para medir la sección:

Se usó una cuerda lo suficientemente larga para cubrir la sección transversal más ancha de la cárcava mas unos 10 m de complemento, es necesaria. La longitud de la cuerda fue dividida en segmentos de igual dimensión (d) de 0.5 m estableciendo marcas. La cuerda marcada es colocada en cada sección tomando como puntos de referencia las estacas en ambos márgenes (figura 3).

El ancho de la cárcava se obtiene de contar las veces que se observan las marcas, multiplicadas por 0.5, mas la distancia de las marcas en los extremos hacia cada margen,

para lo cual se hace uso de la cinta métrica. Para medir la profundidad (h) de la cárcava, se anota la lectura observada desde cada marca en la cuerda hasta el lecho de la cárcava, midiendo con una escala métrica.

Otra forma de medir la profundidad de la cárcava es colocando en las marcas de la cuerda, otras cuerdas que son a su vez marcadas cada 0.5 m, entonces se miden con el auxilio de estas cuerdas la distancia hacia el lecho.

Para el cálculo del área de la sección transversal, una aclaración importante es que para sección se debe identificar la forma de la cárcava, con el fin de seleccionar la fórmula del cálculo del área de la sección transversal. La sección transversal de cada área puede tener la forma de "V" o de "U". Con la información obtenida en cada sección transversal de sus profundidades y de la distancia constante, se aplica la siguiente fórmula (siempre y cuando la sección transversal tiene forma de "U").

C) Cálculo del área para cárcava en forma de U:

$$A = d \sum h_i$$

Donde:

A: área de la sección transversal (m²).

d: distancia constante (0.5 m).

h_i: profundidad de la marca i.

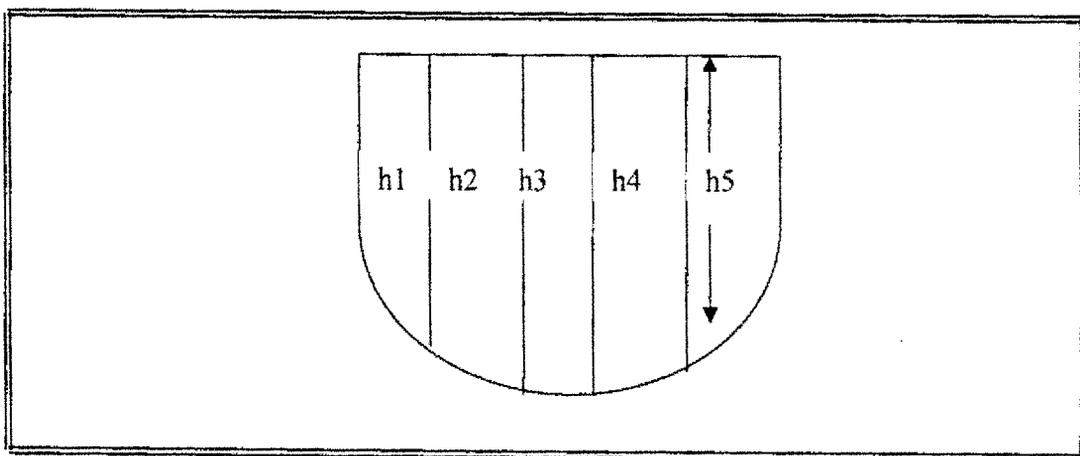


Figura 3. Esquema de la sección transversal de una Cárcava en forma de U.

c) Cálculo de la pérdida de suelo.

La determinación del área de la sección transversal se efectúa dos veces, durante el periodo de evaluación. Una necesariamente antes del inicio de las lluvias para tener un dato del estado inicial de la cárcava. Posteriormente el segundo momento se realiza al finalizar la temporada lluviosa o según los objetivos de la medición se pueden hacer a intervalos por periodos más cortos.

Para el cálculo de la pérdida de suelo, se procede primero a determinar la diferencia de área entre los dos momentos observados. Basados en los resultados obtenidos de las áreas con la formula utilizada.

El área de la sección puede también ser determinada a partir de graficar en papel milimetrado la figura de la sección con los datos de ancho y profundidades observados en el campo. Al unir los puntos en forma la figura de la sección transversal y el área se determina finalmente con el uso de un planímetro.

Para el cálculo del volumen de suelo perdido (V_{sp}), se obtiene de la multiplicación del valor de la diferencia de área (A_d), de la sección transversal por la longitud del transecto (L_t).

$$V_{sp} = A_d * L_t$$

Donde:

V_{sp} = Volumen de suelo perdido (m^3).

A_d = Diferencia de áreas (m^2).

L_t = Longitud del transecto (m).

Un valor de suelo perdido medio se obtiene de sumar los resultados de cada transecto del suelo perdido y dividirlo entre el número de transectos sumados (N_t).

$$V_{sm} = \sum V_{sp} / N_t$$

Donde:

Vsm = Valor de suelo perdido medio (m3).

Vsp = Valor de suelo perdido (m3).

Nt = Numero de transectos sumados (m).

El valor del suelo perdido medio se divide entre los metros de la longitud del transecto y se puede expresar la perdida de suelo en volumen de suelo perdido por metro lineal de cárcava (m3/m).

3.4.3. Metodologías utilizadas para estimar el caudal

3.4.3.1. Método de Flujo en canales.

Este método se utiliza para determinar el caudal para cárcavas, y se recomienda para cárcavas donde se observan las huellas máximas del escurrimiento, la fórmula es la siguiente:

$$Q = A \times V$$

Donde:

Q = Caudal del flujo.

A = Área de la sección (m2).

V = Velocidad del flujo (m/seg.).

Nota: El calculo del área es igual a como se indica anteriormente. Para el cálculo de la velocidad del flujo se utiliza la fórmula de Manning, que se describe a continuación:

$$V = \frac{R^{2/3} \times S^{1/2}}{n}$$

Donde:

V = Velocidad del flujo (m/seg.)

R = Radio hidráulico (m).

S = Pendiente (m/m)

n = coeficiente de rugosidad.

Para el cálculo del radio hidráulico se utiliza la siguiente fórmula:

$$R = A / P$$

Donde:

R = Radio hidráulico (m).

A = Área de la sección (m²).

P = Perímetro mojado (m).

Para determinar el radio de la sección, se divide el área entre el perímetro mojado, el área se determina utilizando los procedimientos descritos anteriormente.

El perímetro mojado se midió con una cinta métrica, siguiendo el contorno de la región de la sección de la cárcava, sin incluir el espejo del agua (solo las paredes de la cárcava, no incluir la superficie del agua).

Para el cálculo de la pendiente, se determina la pendiente medida de la porción de la cárcava donde se pretende ubicar la estructura y se expresa en m/m, esta se puede medir con cualquier instrumento que mida pendientes en terreno, en el caso de que el instrumento arroje el dato de pendiente en porcentaje, este dato se divide entre 100, para expresarlo en m/m, como lo pide la fórmula.

Para determinar el coeficiente de rugosidad, se utilizó una tabla (Tabla de valores de "n", propuestas por Horton), que establece el valor de acuerdo a las características y superficie del canal (ver anexo 4).

3.4.3.2. Método Racional

Este método se utiliza para determinar el caudal para un periodo de retorno, se determinó el Caudal Máximo para **0.5 y 6 horas**; el método supone que el caudal de escorrentía directa toma un valor de caudal máximo correspondiente a una lluvia de intensidad I, sobre un área

de drenaje A , que se mantiene hasta que se llegue al tiempo de concentración T_c , para el que toda la cuenca contribuye con escorrentía hasta el punto de salida. El caudal máximo se calcula mediante la siguiente expresión:

$$Q = C I A / 360$$

Donde:

Q = Caudal para el período de retorno, (m^3/s).

C = Coeficiente de Escorrentía, (adimensional).

I = Intensidad de la lluvia igual al tiempo de concentración de la cuenca para el período de retorno dado, (mm/hr), que se obtendrá de las curvas IDF.

A = Área de la cuenca, (Ha).

Para aplicar esta fórmula, es indispensable determinar cada uno de los factores que en ella intervienen, para lograrlo se deben de seguir los siguientes pasos:

- a. Obtener el valor del coeficiente de escurrimiento C por medio de tablas de acuerdo con las características de la cuenca: cobertura, pendiente y al uso del suelo (ver tabla de coeficiente de escorrentía “ C ” en Anexo 3.).
- b. Es necesario conocer o (evaluar) la intensidad de precipitación para el tiempo de concentración de la cuenca. Si utilizamos un tiempo menor, permitimos que toda la cuenca contribuya al caudal, si utilizamos un tiempo mayor, la intensidad máxima será menor. Esta intensidad de precipitación para aplicar a la fórmula debería corresponder a una precipitación uniforme por toda la extensión de la cuenca durante el tiempo considerado, otra forma de obtener este valor es solicitar a la estación meteorológica más cercana al área de estudio los registros anuales y/o mensuales de precipitación media.
- c. El área de la microcuenca se determinó utilizando herramientas de SIG y la base de mapas utilizado en la modelación SWAT (Gutiérrez, M. 2003).

3.4.2. Etapa de campo

3.4.2.1. Delimitación del área de muestreo en la microcuenca 7:

Esta se hizo a partir de reconocimiento de campo e identificación del área específica de captación del cauce seleccionado para instalar el muestreador de sedimentos.

Para seleccionar el área donde se instaló el captador de sedimento, primero se delimitó la microcuenca en estudio (microcuenca 7), posteriormente se realizó un recorrido de campo, este recorrido se hizo en el parte aguas y cauces de la microcuenca 7, con el propósito de reconocer el área de la microcuenca 7 y el área de descarga específica hacia este cauce. Incluyendo donde empieza y donde finaliza la descarga, corroborar los cauces que aparecían en los mapas de la zona y determinar donde estos nacían y hacia donde se dirigían y así identificar el depósito de sedimentos (donde se dirigía el caudal y donde posiblemente se depositaba todo el suelo arrastrado por las corrientes), esto dio como resultado una selección de las posibles áreas donde se instalaría el captador de sedimentos. Posteriormente estas áreas se analizaron con los mapas de curvas a nivel en el SIGMA, se seleccionó finalmente, el área donde se presentaba la mayor captación de sedimentos (un punto donde se unen tres cauces), estos puntos se georeferenciaron con la ayuda de el GPS.

3.4.2.2. Instalación de los instrumentos (estación de aforo y el pluviógrafo).

Para la instalación de la estación de aforo utilizamos un tubo de hierro de 4 pulgadas de grosor con una altura de 1.60 m, quedando sobre la superficie una altura de 80 cm, los captadores de sedimentos que consistían en unos frascos plásticos con una entrada de aire en la parte superior (respiradores) y una de agua en la parte inferior de la tapa del frasco (captaba el agua junto con los sedimentos), se ubicaron a una distancia de 10 cm. a diferentes alturas de forma vertical, colocados a ambos lados del tubo base. Este captador fue montado sobre una base construida con piedra cantera en el área de descargue del cauce, luego estas piedras fueron rellenas de concreto (repello total de la estructura), la base del tubo estaba protegida por verjas de hierros. Tratando que la estación no fuera

este evento fue el de mayor magnitud y el que más sedimentos arrastró, ya que quedó una capa de 20 cm de profundidad después de la ocurrencia de este evento. En los otros eventos solo se pudo notar un incremento mínimo de sedimentos acumulados.

El funcionamiento del pluviógrafo es totalmente digital, posee internamente un sistema que registra la información y desecha el agua. Al llenarse con una cantidad determinada, el sistema interno baja una palanca esta marca un punto, este punto significa un evento de 0.254 mm de agua, esta información la almacena en un chip electrónico, a continuación la información almacenada en el chip se baja a través de una computadora portátil para lograr esto se conecta el chip a un cable USB y este a la computadora, estos datos se descargan con un programa llamado BOX CAR, el cual los almacena de forma ordenada el número de eventos ocurridos en el período que se le ordeno registrar, en nuestro caso por mes, descargada la información del chip, éste se lanza (se borra la información), y se vuelve a instalar en el pluviógrafo para que registre los próximos eventos de lluvia.

Por último los datos de precipitación analizados se tomaron y se compararon con la única muestra de sedimento recolectado, correspondiente a la fecha en el cual se recolectó la muestra de escurrimiento y sedimentos.

3.4.3. Etapa de postcampo

3.4.3.1. Procesamiento de la información recolectada.

En esta etapa de la investigación todos los datos recolectados y almacenados durante la etapa de campo, se ordenaron para su posterior procesamiento según lo estipulado con anterioridad en el anteproyecto. Con los datos ordenados y listos para ser utilizados, se procedió a determinar el caudal y la pérdida de suelo, con los métodos descritos anteriormente.

3.4.3.2. Análisis de la información procesada

A) Cálculo de sedimentos a través de un muestreador (estación de aforo).

Para poder determinar la pérdida de suelo por el muestreador por puntos se realizaron los siguientes pasos los cuales se describen a continuación: Primero se calculó el área de captación que es la boquilla de entrada de los frascos que constituyen el muestreador, esta es un área conocida.

El muestreador esta formado por frascos de plástico, con un volumen conocido y a una distancia determinada de 10 cm entre frascos, en el evento (Precipitación) hubo una captación de sedimentos y agua hasta el 5to frasco, esto indica que el nivel del agua con respecto a la superficie del suelo, llego hasta 50 cm de altura.

En el caso de los datos recogidos en el captador de sedimentos, la muestra que recolectamos la llevamos al laboratorio para su análisis, el cual consistió en determinar el peso húmedo y peso seco del suelo para determinar su densidad aparente, con estos resultados se hizo una relación con el volumen del frasco (muestra), con la del volumen del caudal.

De los datos obtenidos de las cinco muestras (de las 5 alturas diferentes), sacamos un promedio de peso seco del suelo, del peso húmedo del suelo y del volumen del agua, con el área de captación conocida y el volumen promedio obtenido de las cinco muestras se hizo una relación entre el área de la sección de la cárcava y el volumen de la cárcava quienes representan la sección transversal muestreada; al realizar esta relación nos da un volumen de agua determinado que pasa por esta sección.

Como segundo paso se obtuvo un promedio del peso seco de las cinco muestras, después se hizo una relación entre el peso seco del suelo de las muestras y el área de la sección transversal muestreada, resultando de esto una cantidad de suelo perdido en gramos, por ultimo esto se paso a toneladas y posteriormente quedo como resultado final Ton/ha.

En una de las visitas de campo se recogieron tres muestras de suelo a diferentes profundidades (5, 10 y 15cm) para realizarle un análisis físico de suelos en el laboratorio, donde se determino el porcentaje de arcilla, limo, arena, nutrientes, pH, materia orgánica, Nitrógeno, Potasio y Fósforo en cada una de las diferentes profundidades. Este examen se hizo con el propósito de hacer una estimación de cuanto el productor pierde por la acción de la erosión hídrica.

En la recolección de los datos de precipitación con el pluviógrafo primero se hace un lanzamiento del chip (Launch), se determina el tiempo en el cual se van a tomar los datos de precipitación, este chip tiene varias opciones de lanzamiento que pueden ser de un día, un mes, un año, etc. Según convenga a la persona encargada de recolectar los datos para determinar el día en el cual hará la recolección.

Posteriormente nos dirigimos al campo con un cable USB y una laptop con el programa Box Car instalado (este programa sirve para bajar la información almacenada por el chip del pluviógrafo), luego retiramos con cuidado el chip del pluviógrafo para no marcar un evento (ya que es sensible a las vibraciones), una vez retirado el chip, se conecta al cable USB y este a su vez a la computadora, para bajar la información se siguen los siguientes pasos:

- Estando en el programa se aplicaba la opción Relaunch (opción de leer lo lanzado anteriormente), automáticamente el programa bajaba la información recolectada y almacenada a lo largo del tiempo estipulado.
- Después que se obtiene una gráfica y una tabla de estos datos se guardaban, y se exportaban a Excel para su análisis.
- Posteriormente se daba la opción Launch (lanzar), lo que se hacía era borrar la información recolectada para volver a instalar el chip la pluviógrafo limpio sin información, para que este volviese a recolectar la información de los próximos eventos.

Este proceso se realizó cada vez que se tomaron los datos de precipitación proporcionados por el pluviógrafo.

- ❖ A partir de los mapas generados por INTERCONSULT, se utilizaron los siguientes mapas para facilitar el estudio de la microcuenca 7.

- ❖ Elaboración del informe final.

Una vez obtenida toda la información, recolectada a lo largo de los 6 meses que duró la etapa de campo, se realizaron los cálculos de estimación del caudal a través del método racional, la cantidad de sedimento que se perdió en la microcuenca 7 a través del método de huellas máximas, estos resultados se compararon con los datos arrojados por el modelo SWAT, y se determinó cual método fue el más aproximado al SWAT.

B) Cálculo de escurrimiento y sedimentos con el método de flujo en canales y huellas máximas

Para determinar la pérdida de suelo con el método de huellas máximas se hizo lo siguiente: Primero se realizó una medición de la sección transversal al inicio de las lluvias, esto se hizo para tener un dato del estado inicial de la cárcava, una vez que el periodo lluvioso terminó, se hizo otra medición en el mismo lugar donde se hizo la primera, la fórmula que se usó fue: la del cálculo del área para cárcavas en forma de "U" (ver figura 3). Después con la ayuda del GPS, se tomaron puntos en el terreno y posteriormente en la computadora (con la ayuda del programa Arc View), se determinó la longitud del transecto.

Por último, se procedió primero a determinar las diferencias de áreas entre los dos momentos observados (restar el área inicial con el área final de la sección transversal). Obtenida la diferencia de área en la sección transversal, se multiplicó este valor (diferencia de áreas), por la longitud del transecto. Esto nos dio como resultado el volumen de suelo perdido de la sección transversal.

Para obtener el área de la cárcava se colocaron marcas en una cuerda y con la ayuda de otras cuerdas que son a su vez marcadas cada 0.5 m, entonces se miden con el auxilio de estas cuerdas la distancia hacia el lecho. Posteriormente se utilizó la fórmula de U, para determinar el área de la sección.

Para calcular el perímetro mojado del canal se midió con la ayuda de una cinta métrica, el contorno de la región de la sección de la cárcava (las paredes de la cárcava sin incluir la superficie del agua o espejo de agua, y se midió donde empieza el nivel del agua en cada extremo). Teniendo el perímetro este se dividió entre el área de la sección calculada y así se obtuvo el radio hidráulico.

Para el calcular la pendiente medida de la porción de la cárcava se usó un clinómetro "Suunto", este nos arrojó el resultado en porcentaje, en este caso lo que se hizo fue dividir el dato entre 100, para expresarlo en m/m, como lo pide la fórmula.

Para determinar el coeficiente de rugosidad (n), se observaron las características de la superficie del canal y luego se utilizó una tabla de valores (Tabla de valores de "n", propuestas por Horton), donde se determinó el valor de "n", que le correspondía a esa cárcava, (ver anexo 4).

Teniendo todos los datos que la fórmula nos exige se procedió a aplicarla, y nos dio como resultado final el cálculo de la velocidad del caudal utilizando la fórmula de la velocidad del flujo.

C) Cálculo del escurrimiento con el Método Racional

El área de la microcuenca 7, se tomó de los datos proporcionados por la simulación del programa SWAT (Gutiérrez, Mario. 2004), esto se hizo con el propósito de que la comparación entre la simulación que realiza el programa SWAT y los métodos aquí evaluados fuera bajo condiciones similares. Para determinar el coeficiente de escurrimiento (C), utilizamos el programa Arc View, Versión 3.2, en donde interceptamos el mapa de

uso actual y el mapa de pendiente de la microcuenca 7, de la Sub cuenca III, de la Cuenca Sur del Lago de Managua, utilizando la extensión GeoProcessing y la Opción intersect two themes, al utilizar esta opción hacemos que la información de ambos mapas se intercepte (se unan los dos mapas en uno solo), y esto hace mas fácil el análisis para determinar el coeficiente de escorrentía, ya que podemos observar en un solo mapa y en una sola tabla la información que cada mapa por separado trae, como son: las pendientes del terreno, el tipo de cultivos que se siembra y el tipo de suelo necesarios para determinar el valor del coeficiente de escorrentía, el cual es adimensional y se toma el tipo de cultivo, el tipo de pendiente y la textura del suelo, con la ayuda de una tabla (tabla del Coeficiente de escorrentía "C" de Manning), donde ya se encuentran estipulados los valores, entonces podemos determinar que valor resulta el coeficiente de escorrentía (C), (ver Anexo3).

La intensidad se obtuvo de los datos meteorológicos proporcionados por el INETER (Instituto Nacional de estudios Territoriales), el Área de medición que se representa es el área del cauce en donde se da la captación de sedimentos y en donde existe una marcada diferencia en la pendiente del cauce, en el cual se puede observar desde donde empieza a ocurrir el arrastre de los sedimentos hasta donde finalmente se acumulan.

Obteniendo una vez el coeficiente de escorrentía, la intensidad de lluvia que precipitó y el área de captación del agua y sedimentos, se multiplico el coeficiente de escorrentia (C) por la intensidad de lluvia (I) y este resultado a su vez por el área de captación de agua y sedimentos del cauce (A), este resultado lo dividimos entre 360 esta es una constante y un valor adimensional de la fórmula racional (Q), y así se determinó el caudal (Q) de la microcuenca 7.

IV. RESULTADOS Y DISCUSION

4.1. Muestreador por puntos

El cálculo de la pérdida de suelo a partir de la medida del movimiento de los sedimentos en corrientes, tropieza con varios problemas; la realización de las mediciones lleva tiempo y resulta costosa, su precisión puede ser baja; incluso si se disponen de datos correctos sobre el movimiento de una corriente no se sabe de donde procede el suelo y cuando se produjo el movimiento (León, M. 2003).

El movimiento de los sedimentos en las corrientes y ríos presenta dos formas. Los sedimentos en suspensión están constituidos por las partículas de suelo mas finas, mantenidas en suspensión por los remolinos de la corriente y solo asientan cuando la velocidad de la corriente disminuye o cuando la corriente descarga en un lago. Las partículas solididad de mayor tamaño son arrastradas a lo largo del lecho de la corriente y se designan con el nombre de arrastre de fondo. También existe un tipo intermedio de movimiento en el que las partículas se mueven aguas abajo dando rebotes o saltos, a veces tocando el fondo y a veces avanzando en suspensión hasta que vuelva a caer en el fondo. A este movimiento se le denomina saltación y es una parte muy importante del proceso de transporte por el viento; en la corriente líquida la altura de los saltos es tan reducida que no se distinguen realmente del arrastre del fondo.

Cuadro 5. Calculo de perdida de suelo por obtenidos con el captador de sedimentos (Muestreador por puntos)

PSS (gr)	Volumen con sedimentos (ml)	Volumen sin suelo (ml)	Suelo (ml)
15,4987	450	340	110
73,9678	400	320	80
25,9389	450	360	90
25,3596	400	350	50
31,357	450	395	55
Promedio	Promedio	Promedio	Promedio
34,4244	430	353	77

Como podemos ver en el cuadro 5 tenemos los resultados que se analizaron en el laboratorio producto de la recolección de datos por el captador de sedimentos (muestreador por puntos) en el campo, con la muestra de suelo recolectada se estimaron promedios de volúmenes de suelo, para posteriormente ser utilizados estos promedios en la estimación del volumen de suelo perdido.

Cuadro 6. Diferentes áreas para calcular la cantidad de sedimentos.

Áreas	cm ²
Muestreador	0,126
Sección cárcava	7900

$$\begin{array}{l} 0.126 \text{ cm}^2 \text{-----} 0.43 \text{ lt} \\ 7900 \text{ cm}^2 \text{-----} X = 26960.32 \text{ lt} \end{array}$$

$$\begin{array}{l} 10000 \text{ lt} \text{-----} 1 \text{ m}^3 \\ 26960.32 \text{ lt} \text{-----} X = 2.696032 \text{ m}^3 \end{array}$$

Cuadro 7. Áreas en diferentes unidades.

Área (cm ²)	gr	Kg	Ton
0.126	34.4244	0,0344244	0.0000379
7900	2160000	2160	1.9

$$1000 \text{ gr} \text{-----} 1 \text{ Kg}$$

$$34.4244 \text{ gr} \text{-----} X = 0,0344244 \text{ Kg}$$

$$909.09 \text{ Kg} \text{-----} 1 \text{ Ton}$$

$$0,0344244 \text{ Kg} \text{-----} X = 0.000379 \text{ Ton}$$

$$\text{Área } 0.126 \text{ cm}^2 \text{-----} 0.0000379 \text{ Ton}$$

$$\text{Área } 7900 \text{ cm}^2 \text{-----} X = 1.9 \text{ Ton}$$

Para poder estimar el volumen de suelo perdido con los datos que se recolectaron se hizo una relación entre el volumen de suelo del recipiente y el volumen de la sección de la cárcava, pero para poder llegar a esta relación se tuvieron que realizar algunas conversiones (gramos a kilogramos a toneladas), esto nos lleva a un resultado de 1.9 ton (ver cuadro 7), en un área de 26.554 ha (que es el área muestreada), por lo tanto se pierden 0.0715 Ton/Ha para una tormenta o evento, este valor es alto quizás esto se deba a que esta tormenta fue la primera en caer, y fue de una duración larga y una gran intensidad, por tanto al tener estas características tuvo un gran impacto en el suelo y al caer se encontró con grandes niveles de material fácil de remover ya que no había llovido hasta ese momento.

En la construcción de la sección transversal del área conocida donde se encontraba instalado el muestreador de sedimentos, es fácil de observar cuanta cantidad de sedimentos fueron arrastrados por el agua de escorrentía hasta esta sección, ya que la misma constó con una superficie construida de concreto y esto facilita observar la cantidad de sedimentos depositados sobre la superficie de la sección transversal construida y de esta manera facilitar la estimación de pérdida de suelo al utilizar el método de Huellas Máximas.

4.2. Método de huellas máximas.

El proceso de formación de las cárcavas es un proceso meramente destructivo y la formación de estas se pueden dar en diferentes condiciones tanto climáticas como topográficas, es necesario medirlas para estimar su comportamiento en el tiempo y así determinar medidas para combatir este fenómeno degradador del suelo, existen varios métodos para estimar las pérdidas de suelo en cárcavas y uno muy conocido y utilizado es el llamado Método de huellas máximas, este método es bastante utilizado porque sus resultados son relativamente veraces.

Como se puede apreciar se determinó la sección transversal a través del cálculo del área inicial y final respectivamente, después de calcular las dos áreas, se determinó la diferencia de ambas, dando esta un resultado de una sección transversal de 0.79m^2 .

Para calcular la sección transversal, se hizo lo siguiente; en el caso de la longitud del transecto del área de captación, se utilizó el SIG, (Sistema de Información Geográfica), según este programa nos dio un resultado de 2063.23 m, por último se procedió a calcular la pérdida de suelo con la metodología de huellas máximas (antes descrita), este nos dio un resultado de 1629.9754 m^3 , este resultado multiplicado por la densidad aparente del suelo nos da en toneladas por hectárea, en este caso por las 26.554 ha (que es el área muestreada), se obtiene un volumen de suelo perdido de 95.14 Ton/ha.

Esta alta pérdida de volumen de suelo es influenciada principalmente por la falta de prácticas de conservación de suelos que tiene la zona y las costumbres tradicionales de siembra de cultivos, esto significa que los productores de esta zona no utilizan técnicas especiales para sembrar.

Otro factor importante que contribuye al alto nivel de erosión es la vulnerabilidad que tienen estos suelos a ser erosionados ya que estos se encuentran desprotegidos, sin ninguna vegetación, esto sucede cuando no siembran cultivos en ellos y esto asociado a altas pendientes que presentan, hacen que sean más susceptibles a la erosión hídrica.

Según la FAO, 1981 (ver cuadro N° 2), la erosión que ocurre en esta microcuenca es de categoría alta, esto se debe a la falta de practicas de conservación de suelos en la misma y a la inexistencia de practicas agroforestales como barreras vivas que permitan disminuir la degradación del suelo.

Medición de la sección transversal

Calculo del área inicial y final

Área Inicial

$$A_i = ?$$

$$d_i = 3.14m \quad A_i = 0.79 (0.79 + 0.81 + 0.85 + 0.87)$$

$$h_1 = 0.79m \quad A_i = 2.62m^2$$

$$h_2 = 0.81m$$

$$h_3 = 0.85m$$

$$h_4 = 0.87m$$

Área Final

$$A_f = ?$$

$$d_f = 3.14m \quad A_f = 0.79 (0.54 + 0.56 + 0.60 + 0.62)$$

$$h_1 = 0.54m \quad A_f = 1.83m^2$$

$$h_2 = 0.56m$$

$$h_3 = 0.60m$$

$$h_4 = 0.62m$$

Área de la sección transversal

$$\text{Área} = A_i - A_f$$

$$\text{Área} = 2.62m^2 - 1.83m^2$$

$$\text{Área} = 0.79m^2$$

1. Longitud del transecto

$$L_t = 2063.26m.$$

2. Volumen de suelo perdido

$$V_{sp} = A_d * L_t$$

$$V_{sp} = 0.79m^2 * 2063.26m$$

$$V_{sp} = (1629.9754m^3)*(1.55)$$

$$V_{sp} = 2526.46187 \text{ Ton en } 26.554 \text{ ha}$$

$$V_{sp} = 95.14 \text{ Ton/ha}$$

Comparando estos resultados con los resultados obtenidos en la simulación realizada por el programa SWAT (Gutiérrez, M. 2004), tenemos que la producción de sedimentos para el año 2003, con el mapa de uso actual, nos da un valor de 87.64 ton/ha, y con el mapa de uso potencial un valor de 32.49 ton/ha. Con el método de huellas máximas tenemos un valor de 95.14 ton/ha, es decir que si comparamos estos resultados con los del SWAT, con el mapa de uso actual simula de forma bastante precisa la pérdida de suelo. Sin embargo, al comparar los resultados de este método con el SWAT, utilizando el mapa de uso potencial, nos da una diferencia considerable, la explicación de este fenómeno es la siguiente:

El hecho de que existe **una menor producción de escorrentía con el uso potencial se debe exclusivamente a que la cobertura está de acuerdo a las capacidades del uso del suelo**, presentándose una protección en la parte más alta de la microcuenca cubierta con bosque, lo que facilita un mayor aprovechamiento del agua en la capa activa de las plantas. La mayor parte del agua ya no se mueve por vía superficial como en el caso del uso actual, sino que, el agua aprovecha las condiciones de cobertura y suelo, y escurre subsuperficialmente probablemente 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 (Gutiérrez, M. 2003).

Con la cobertura de uso potencial hay mayor protección al suelo contra el impacto de las gotas de lluvia y el arrastre de los sedimentos provocados por la escorrentía, por tanto se obtiene una mayor infiltración de agua 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 micro poros, esto da lugar a una mayor retención de humedad y un movimiento de agua en el espacio superficial del suelo. Por tanto al realizar

una comparación entre esta simulación (utilizando el mapa de uso potencial) y el método de huellas máximas la diferencia porcentual es amplia.

4.3. Cálculo del flujo en canales

Este método es utilizado en cárcavas, para determinar la velocidad de su caudal y se recomienda para cárcavas donde se observan las huellas máximas del escurrimiento. Para el cálculo de la velocidad del flujo se realizó lo siguiente:

Se levantaron varios datos para determinar diferentes áreas y diferentes perímetros mojados de la cárcava, (ver anexo 7), en el cuadro 8, se muestran las diferentes áreas como resultado del procesamiento de los datos obtenidos en el campo, después se calcularon los radios hidráulicos correspondientes a cada área antes calculada.

Cuadro 8. Áreas, perímetro mojado y Radio hidráulico, calculado para la microcuenca 7.

Nº	Área (m ²)	Perímetro Mojado (m)	Radio hidráulico (m)
1	6.24	11.13	0.561
2	5.69	10.98	0.518
3	6.5	11.95	0.544
4	9.66	12.8	0.755
5	3.73	10.30	0.362
6	7.20	14.12	0.510

Como podemos ver se determinó la velocidad del caudal través del método de flujo en canales, se calcularon diferentes áreas en diferentes puntos del cauce, esto se puede apreciar en el cuadro 9, donde aparecen todas las áreas, estas áreas oscilan entre los 5 a 9 m², y el área promedio que se obtuvo de estos valores es de 6.50 m². Esta es el área que se utilizó en

la fórmula (área promedio), esto se hizo para obtener una mayor precisión en los resultados de este método.

Cuadro 9. Áreas y el área promedio

N ^o	Área (m ²)	Promedio (m ²)
1	6.24	6.50
2	5.69	
3	6.50	
4	9.66	
5	3.73	
6	7.20	

Calculo del flujo en canales

$$Q = A * V$$

1. Área

$A = 6.50 \text{ m}^2$ Área promedio de las 6 secciones transversales medidas

2. Velocidad del flujo

$$V = \frac{r^{2/3} * s^{1/2}}{n} \quad ; \quad r = A/P$$

Cuadro 10. Calculo del radio hidráulico

Radios	m ²	Promedio (m ²)
r^1	1.71	2.35
r^2	2.23	
r^3	3.11	

Donde: r_1 , r_2 y r_3 son radios hidráulicos en diferentes secciones de la cárcava

$$r = \frac{r_1 + r_2 + r_3}{3}$$

$$r = \frac{1.71 \text{ m} + 2.23 \text{ m} + 3.11 \text{ m}}{3} = 2.35 \text{ m} \quad r = 2.35 \text{ m}$$

Pendiente promedio (en el lecho de la cárcava)

$$s = 0.001 \text{ m/m}$$

Aplicando la formula de la velocidad del flujo tenemos:

$$V = \frac{2.35 \text{ m}^{2/3} * 0.001^{1/2}}{0.045} = 1.2 \text{ m/seg.}$$

$$V = 1.2 \text{ m/seg.}$$

Una vez determinadas las áreas se pasó a aplicar la fórmula de la velocidad del flujo, con los datos antes mencionados, esto implicó calcular el radio hidráulico, se estimaron varios y de estos se obtuvo un radio hidráulico promedio esto para dar una mayor precisión en el estudio, estos radios se pueden apreciar en el cuadro de arriba (Cuadro10). Ya determinado el radio se midió directamente en el campo la pendiente promedio del cauce, al medir la pendiente esta dio un valor relativamente bajo (pendiente promedio de 1%), esto se debió a que en el transecto donde se tomó la medida es un área de depositación, ya que la pendiente disminuye considerablemente en comparación con otras áreas de la misma cuenca, y se noto a través de la observación que gran cantidad de sedimentos arrastrados por la escorrentía se depositaban en este lugar, en esta área se unen varios caudales por tanto nosotros consideramos que esta era el área mas indicada para tomar los datos necesarios para medir la velocidad del flujo.

Calculo del flujo en el canal

$$Q = 6.50 \text{ m}^2 * 1.2 \text{ m/seg.}$$

$$Q = 7.8 \text{ m}^3/\text{seg.}$$

Ya obtenidos todos los datos de la velocidad del flujo se procesaron donde el resultado dio una velocidad del flujo dentro del cauce de 1.2 m/seg. Podemos ver que la velocidad del flujo en esta sección de la cuenca es relativamente baja, esto se deba quizás principalmente a que la pendiente del terreno en esta sección del cauce no es muy pronunciada.

Calculada la velocidad del flujo y el área del cauce se paso a realizar el calculo del caudal (Q) dando como resultado un caudal de 7.8 m³/seg. Este caudal es relativamente alto esto probablemente se deba a los diferentes tributario que se unen en este punto y a las diversas condiciones topográficas que presenta el terreno y no olvidando de que esta zona es agrícola y los cultivos no presentan prácticas dirigidas a la conservación del suelo.

En un estudio realizado en Honduras (Smith, J. Jr. 1998), se evaluaron métodos de conservación de suelo, estos métodos mostraron que la tasa de escorrentía era alta, debido a las condiciones topográficas del terreno, y a la ausencia de prácticas de conservación de suelos en la agricultura tradicional de los productores, el método consistió en la medición de escorrentía a través de parcelas y cada parcela sometida a diferentes condiciones, dado que el tiempo para aplicar este método era muy grande (4 años), no se implemento en nuestro estudio, otro factor por el cual este estudio no es viable es la complejidad de instrumentos que se utilizaron para realizar las mediciones.

Realizando una comparación de los resultados de este método con los resultados de la simulación del programa SWAT, se tiene que para el año 2003, utilizando el mapa de uso actual, encontramos una escorrentía de 122.66 mm y para el mismo año pero utilizando el mapa de uso potencial encontramos una escorrentía de 130.05 mm, se puede notar que no hay una gran diferencia entre los dos usos, ya que la escorrentía no esta influenciada directamente con los usos de la tierra, sino más bien esta influenciada directamente con la magnitud e intensidad de las precipitaciones ocurridas en ese momento. Por tanto

comparando estos resultados con los nuestros tenemos que debido a que hay una alta intensidad y duración de las precipitaciones, nos encontramos con un valor de caudal alto.

4.4. Método Racional

$$Q = \frac{CIA}{360}$$

El método racional se utilizó para determinar el caudal de la microcuenca, para un período de retorno específico, este método es muy utilizado para estimar los caudales ya que su precisión es alta.

1. Cálculo del coeficiente de escorrentía (C).

Para estimar el caudal en la microcuenca, lo primero que se hizo fue calcular el coeficiente de escorrentía de esta, esto se hizo tomando en cuenta, el uso de la tierra, tipo de suelo y la pendiente, esto se puede apreciar en el cuadro de abajo (Cuadro 11). Debido a que existían en la microcuenca diferentes tipos de suelo y pendiente, nos encontramos cuatro tipos de coeficientes, para poder estimar un solo (coeficiente), lo que se hizo fue calcular la escorrentía de forma ponderada tomando en cuenta el área de cada coeficiente (el área de cada escorrentía, superficial).

Posteriormente de realizado los cálculos para estimar la escorrentía superficial de forma ponderada, se obtuvo un valor de "C" final de 0.40.

Para determinar las intensidades en 0.5 y 6 horas para un periodo de retorno de 10 años, se utilizaron los datos de precipitación brindados por INETER, con estos datos se calcularon las intensidades, estas dieron: 102.635 mm para 0.5 horas y 17.066 mm para 6 horas respectivamente (Gutiérrez M. 2004).

Finalmente se calculó el área con la ayuda del programa Arc View, según este programa el área es de 266.82 ha. Obtenidos todos los valores que nos pedía la fórmula del método

racional se procedió a calcular el caudal de la microcuenca, dándonos los siguientes valores: 30.426 m³/seg. Para 0.5 horas y 5.059 m³/seg. Para 6 horas.

Al comparar los resultados de la simulación con el programa SWAT con los resultados de este método, tenemos que para el año 2003, utilizando el mapa de uso actual la escorrentía es de 122.66 mm, y para el mismo año, utilizando el mapa de uso potencial, tenemos una escorrentía de 130.05 mm, en comparación con nuestros resultados nos dio una valor de 30.26 m³/seg.

Cuadro 11. Cálculo del coeficiente de escorrentía (C) en la microcuenca 7.

Uso de la Tierra	Tipo de suelo	Pendiente (%)	Factor C	Area (ha)
Cultivos genéricos	Franco limoso	0-2	0.60	0.004
Cultivos genéricos	Franco arenoso	8-50	0.52	110.257
Cultivos genéricos	Franco arenoso	4-8	0.40	26.906
Cultivos genéricos	Franco arenoso	2-4	0.30	129.639

Calculo de "C" ponderada.

$$C = \frac{0.52 (110.257 \text{ ha}) + 0.30 (129.639 \text{ ha}) + 0.40 (26.902 \text{ ha}) + 0.60 (0.004 \text{ ha})}{(110.257 \text{ ha} + 129.639 \text{ ha} + 26.902 \text{ ha} + 0.004 \text{ ha})}$$

$$C = \frac{106.98854 \text{ ha}}{266.802 \text{ ha}} = C = 0.40$$

2. Intensidad

- Para 0.5 horas (Para un periodo de retorno de 10 años)

$$I = 102.635$$

- Para 6 horas (Para un periodo de retorno de 10 años)

$$I = 17.066$$

3. Área de la microcuenca 7

$$A = 266.802 \text{ ha}$$

4. Calculo del caudal en la microcuenca 7, en 0.5 horas para un periodo de retorno de 10 años.

$$Q = \frac{(0.40) (102.635\text{mm}) (266.802 \text{ ha})}{360} = Q = 30.426 \text{ m}^3/\text{seg.}$$

Por tanto el caudal en la microcuenca 7 para un periodo de retorno de 10 años en 0.5 horas es de 30.426 m³/seg.

5. Calculo del caudal en la microcuenca 7, en 6 horas para un periodo de retorno de 10 años.

$$Q = \frac{(0.40) (17.066\text{mm}) (266.802 \text{ ha})}{360} = Q = 5.059 \text{ m}^3/\text{seg.}$$

Por tanto el caudal en la microcuenca 7 para un periodo de retorno de 10 años en 6 horas es de 5.059 m³/seg.

V. CONCLUSIONES

5.1. Muestreador por Puntos

- Para un evento de lluvia de 86.614mm en la parte alta de la microcuenca7, se obtuvieron 1.9 toneladas de suelo depositado en la parte baja, en una área de 26.554 ha, llegando el nivel del agua a los 50 cm de altura sobre la superficie del cauce.
- En el primer evento se dio un arrastre de los sedimentos equivalente a 0.0715 ton/ha de suelo, esto representa un evento de lluvia para un área muestreada de 26.554 ha.

5.2. Método de Huellas Máximas

- La simulación de pérdida de suelo del Programa SWAT, con respecto al Método de Huellas Máximas corresponde en un 92.12%, para es uso actual y para el uso potencial solamente con un 34.15%.
- Comparando los resultados que se obtuvieron por el modelo de simulación SWAT y este método (MHM), tenemos el método hace una predicción bastante exacta, ya que la diferencia entre ambos valores es de 7.8%, por tanto no hay una diferencia amplia entre ambos métodos.
- La cantidad de volumen de suelo perdido en la microcuenca 7, calculado por el método de huellas máximas es de 95.14 Ton/ha, este valor se encuentra en un rango alto de perdida de suelo, según la clasificación de la FAO-PNUMA-UNESCO (1981) (cuadro 3.).

5.3. Método del Flujo en Canales

- La velocidad de escurrimiento en el cauce excede 4 veces la velocidad máxima permisible. Esto provoca un proceso erosivo acelerado en la cárcava.

- Existe un rápido transporte de sedimentos desde las partes más altas a las partes más bajas de la microcuenca, y una degradación de las paredes del cauce de la misma a causa del rápido escurrimiento que presenta la microcuenca.
- Además, debido a la falta de obstáculos en el canal (como vegetación o prácticas de control de erosión), gran cantidad de agua escurre rápidamente por la superficie del canal.

5.4. Método Racional

- Para un período de retorno de 10 años entre los 2 eventos calculados, 0.5 y 6 horas; el caudal es mayor en el evento de menor duración pues es también el de mayor intensidad.

5.5. Conclusiones generales

- La estimación de escorrentía superficial (caudal) generada en una cuenca calculada por el método racional considera la variación en la precipitación para eventos máximos, en cambio el método de flujo en canales, se basa en la evidencia dejada por la corriente en la cárcava (área de la sección transversal). Por lo tanto los resultados que ofrecen son utilizables para diferentes propósitos (diseño de diques, o estructuras aguas debajo de la cuenca).
- La cantidad estimada de sedimentos que la cuenca produce por erosión pluvial se mide por medio del factor denominado pérdida de suelo. La aplicación de ecuaciones empíricas para calcular o estimar la pérdida de suelo en un periodo dado no produce resultados exactos, pero permite determinar índices para comparar los potenciales erosivos en cuencas de la misma región.

VI. RECOMENDACIONES

- ✦ Debido al tipo de suelo (origen volcánico), que se encuentra en esta microcuenca se deben implementar prácticas de conservación de suelos y agua como: curvas a nivel, asociación de cultivos, entre otros; ya que estos suelos al ser susceptibles al arrastre por la escorrentía superficial se erosionan de forma rápida.
- ✦ Dado que en esta zona encontramos pendientes mayores al 15 %, se deberían buscar sistemas de producción alternativos, como cultivos perennes de vocación forestal, como por ejemplo frutales, para una mayor protección al suelo y diversificación de la producción.
- ✦ Realizar estudios de validación de este modelo (SWAT), donde se mida la escorrentía ocurrida por cada evento, al menos durante 1 año.
- ✦ Realizar estudios comparativos, en otras condiciones ambientales como condiciones climáticas o topográficas para determinar como se comporta el modelo SWAT en estas nuevas condiciones.
- ✦ Es recomendable instalar un muestreador de puntos fijo, en una superficie, donde el área de la misma sea conocida, mejor aún si esta es construida de forma artificial y a la vez que el punto donde se encuentre el muestreador sea protegido, para evitar la alteración de la muestra por terceros.
- ✦ Lo ideal en la toma de muestras de sedimentos es tomar los sedimentos cada vez que el caudal de la cuenca aumenta su nivel sobre la superficie, con un muestreador portátil, para obtener muestras de sedimentos a diferentes caudales en una determinada área muestreada.

BIBLIOGRAFÍA

- Quiñónez, A. M.** 2004. Simulación de escorrentía y producción de sedimentos aplicando SWAT, en las microcuencas 7 y 13, Subcuenca III, Cuenca Sur del Lago de Managua. Nicaragua. Tesis. FARENA-UNA. Managua, Nicaragua. 132p.
- Holdridge, Leslie R.** 1982. Ecología basada en zonas de vida. Instituto Interamericano de Cooperación para la agricultura. 1ra edición, 2da reimpresión. San José. Costa Rica. 216p.
- <http://wep.usal.es/javisan/hidro>
- <http://eia.edu.co/sitios/webalumnos/laderas>
- INTERCONSULT.** 2001. Estudio agroecológico y de drenaje pluvial de la subcuenca III de la cuenca Sur del Lago de Managua. 122 p.
- Pérez Cadenas de Llano, 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.
- León C, Misael A.** 2003. Información sobre Sedimentación en Ríos. Siguatepeque, Comayagua, Honduras. 37 p.
- Corralillo, G. Rodríguez I., y Mendoza B.** 1996. Manejo y Conservación de Microcuencas. Managua, Nicaragua. INTECFOR. 80 P.
- Quiñónez Solís, J.** 2001. Manejo y conservación de los suelos. San José, Costa Rica. EUNED. 288p.
- Quiñónez Cerda, D. y Somarriba Chang, M.** 1991. Manual de prácticas de conservación de suelos y agua. Managua, Nicaragua, UNA. FARENA. 52p.
- Somarriba, M., M. Obando y J. A. Beltrán, Editores.** 1999. Manual de Métodos Sencillos para estimar erosión hídrica: Basado en experiencias nacionales. Universidad Nacional Agraria (UNA), Programa para la Agricultura Sostenible en Laderas de América Central (PASOLAC) y Centro Internacional de Agricultura Tropical (CIAT) Proyecto Laderas.
- Somarriba, M.** 2003. Apuntes de clases de Conservación de suelos y agua. Facultad de Recursos Naturales y del Ambiente. Universidad Nacional Agraria. Managua, Nicaragua. 30 pp.
- Whitmore Thomas L. y Smith, James E. Jr.** 1998. Evaluación de métodos de conservación de suelo y agua aplicados a las tierras de laderas cultivadas en el sur de Honduras. Texas. USA. Texas A&M University. Boletín Técnico No 98-2. 22p.

ANEXOS

Anexo 1. GLOSARIO DE TERMINOS

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.

Cuenca hidrográfica

Es toda área drenada por una corriente o por un sistema de corrientes, cuyas aguas concurren a un punto de salida; o sea en el área que contribuye al escurrimiento y que proporciona todo o parte del flujo de la corriente principal y sus tributarios. Es el área drenada por un río incluyendo los recursos naturales inscritos dentro de esta área.

La cuenca esta delimitada por los puntos de mayor elevación altitudinal que constituyen fronteras entre cuencas y subcuencas contiguas. A la unión de dichos puntos se le conoce como parte aguas y reúne un punto de salida al drenaje de las aguas que puede formar grandes ríos, arroyos, o simples corrientes efímeras (Murillo, et al. 1996).

Partes de una cuenca hidrográfica

- ♦ *El parteaguas:* es la línea altimetría de mayor elevación, que delimita ortográficamente a cuencas vecinas. Este lindero real marca las variaciones de la conducción del drenaje superficial que por efectos de la pendiente confluyen hacia la parte baja en ambas.
- ♦ *Sus vertientes:* Son las áreas de captación y se constituyen como las zonas mas estratégicas de la cuenca, dado que en ellas la susceptibilidad del fenómeno de la erosión es altamente significativo, y el mantenimiento de una cubierta vegetal protectora de calidad es definitivamente indispensable para el equilibrio de los valles (Murillo, et al. 1996).

- ♦ **El valle o cuenca baja:** es la zona de menor altitud y donde generalmente se encuentra los cultivos agrícolas y los asentamientos humanos, aquí la conducción de las corrientes tributarias han formado un río o arrollo de regular caudal y divaga en las planicies de leve pendiente.
- ♦ **La Red de drenaje:** es la disposición de los causes y lechos por donde de manera superficial y aparente corre el agua excedente, producto de la precipitación, hacia un depósito natural o artificial.

Clasificación de las cuencas hidrográficas:

De acuerdo al factor que influye en la tasa de escurrimiento, y tomando en cuenta el área y las características hidrológicas, la cuenca puede ser:

- ♦ **Cuenca pequeña:** es aquella en la cual la tasa de escurrimiento esta más influenciada mas en gran parte por lluvias de alta intensidad, corta duración y practicas de manejo de suelos.
- ♦ **Cuencas grandes:** es aquella en al cual la tasa de escurrimiento esta mas influenciada por la forma, tamaño y capacidad de almacenamiento de los canales, que por las practicas de manejo de suelos (Murillo, et al. 1996).

Erosión

La erosión de los suelos es el desprendimiento y arrastre de las partículas finas de suelo (como arena, limos y arcillas), ligado a factores geológicos, geomorfológicos, antrópicos, hídrico o eólicos. Las partículas finas son desprendidas y arrastradas por agua de escorrentía. Posteriormente, sedimentan en áreas bajas y depresiones, o son conducidas al mar. De esta manera la erosión de suelo incluyen tres etapas básicas: Desprendimiento, transporte y sedimentación.

Clases generales de erosión

- ♦ Erosión geológica o natural.
- ♦ Erosión antrópica.

- Erosión eólica.
 - Erosión hídrica.
- ♦ **Erosión geológica o natural:** se define como el desgaste de rocas y sedimentos provenientes de la fractura de materiales rocosos, situados en la parte superficial terrestre.
 - ♦ **Erosión antrópica:** es la erosión causada por la actividad humana, en su afán por suplir alimentos y materias primas para los diferentes procesos industriales.
 - ♦ **Erosión eólica:** esta clase de erosión se presenta en las regiones que tienen un régimen pluvial estacionalmente seco, y están sujetas a la acción de vientos fuertes. Cuando los vientos son de aproximadamente 20 Km/hr y a una altura de 30 cm. sobre la superficie del suelo, no se consideran erosivos, pero los que sobrepasan esa velocidad si, ya que estos son capaces de mantener en suspensión las partículas de suelo y transportarlas, hacia otras regiones.
 - ♦ **Erosión hídrica:** Es el proceso erosivo típico de regiones tropicales, causado por la agresividad de las lluvias, debido a las características de intensidad, duración y frecuencia, asociadas a los eventos pluviométricos. El efecto del agente causal agua se magnifica cuando se conjugan otras variables, como la pendiente abrupta o escarpada de los terrenos, la ausencia de cobertura vegetal y la condición textural, o el pobre desarrollo estructural de los suelos.

Cuadro 12. Clasificación de la degradación de suelos causados por erosión hídrica (FAO, 1980)

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

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

a) **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. 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.

b) **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 (esorrentía) 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:

- ♦ **Esgurrimento 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

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

a) 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. 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.

b) 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:

- ♦ **Escorrentía difusa:** 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:** (escorrentía difusa 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 arrollada. 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.

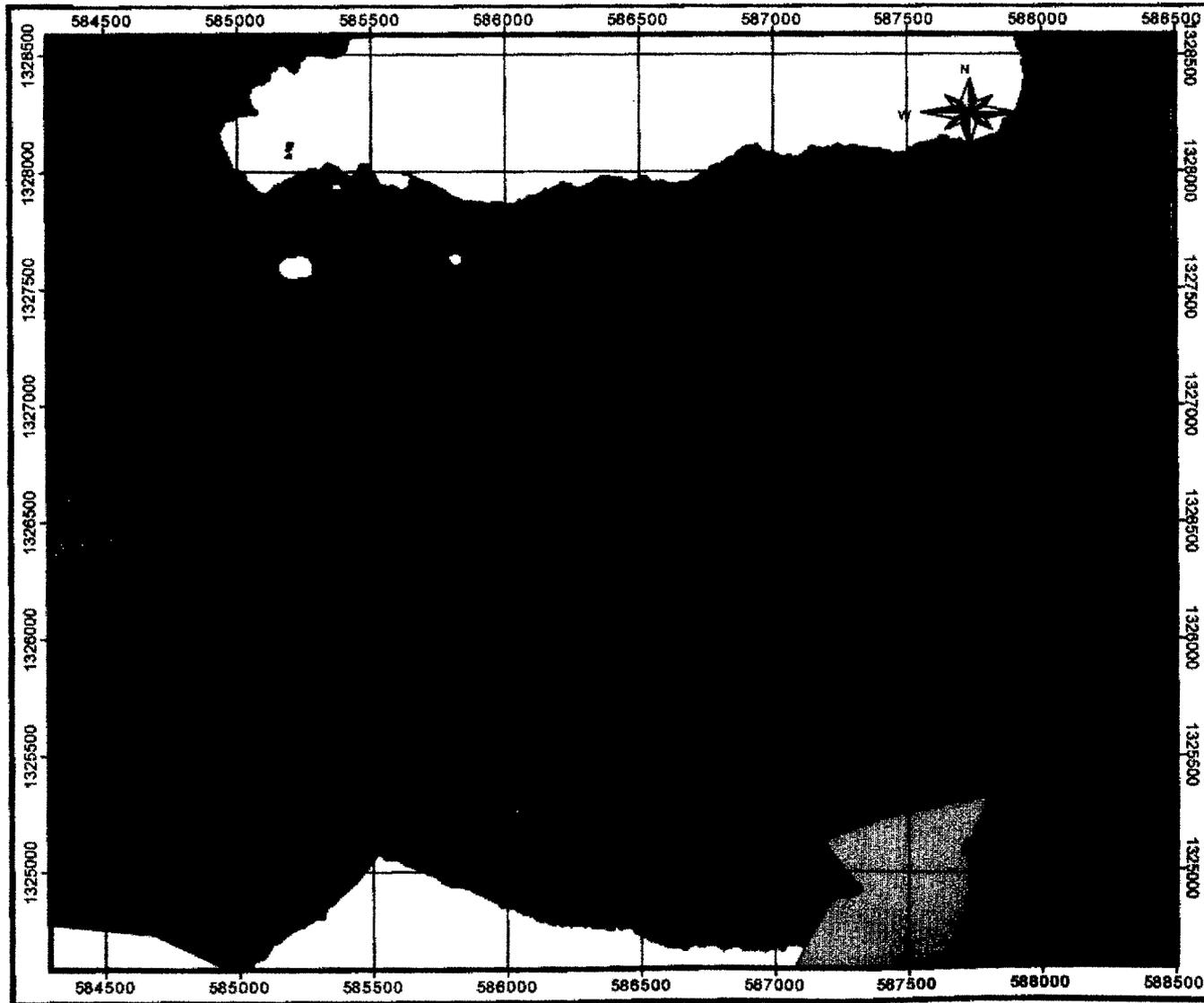
- ♦ **Erosión en cárcavas:** Cuando hay una mayor concentración en el escurrimiento, las irregularidades del terreno permiten la unión de varios surcos y se forman zanjas de gran tamaño conocidas como cárcavas, generalmente ramificadas y que no permiten el uso de maquinarias ni el cultivo. Esta forma 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.

c) **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.

Anexo 2. Mapa de la 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 Concepción
- Managua
- Masatepe
- Masaya
- Mateare
- Nandasmo
- 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

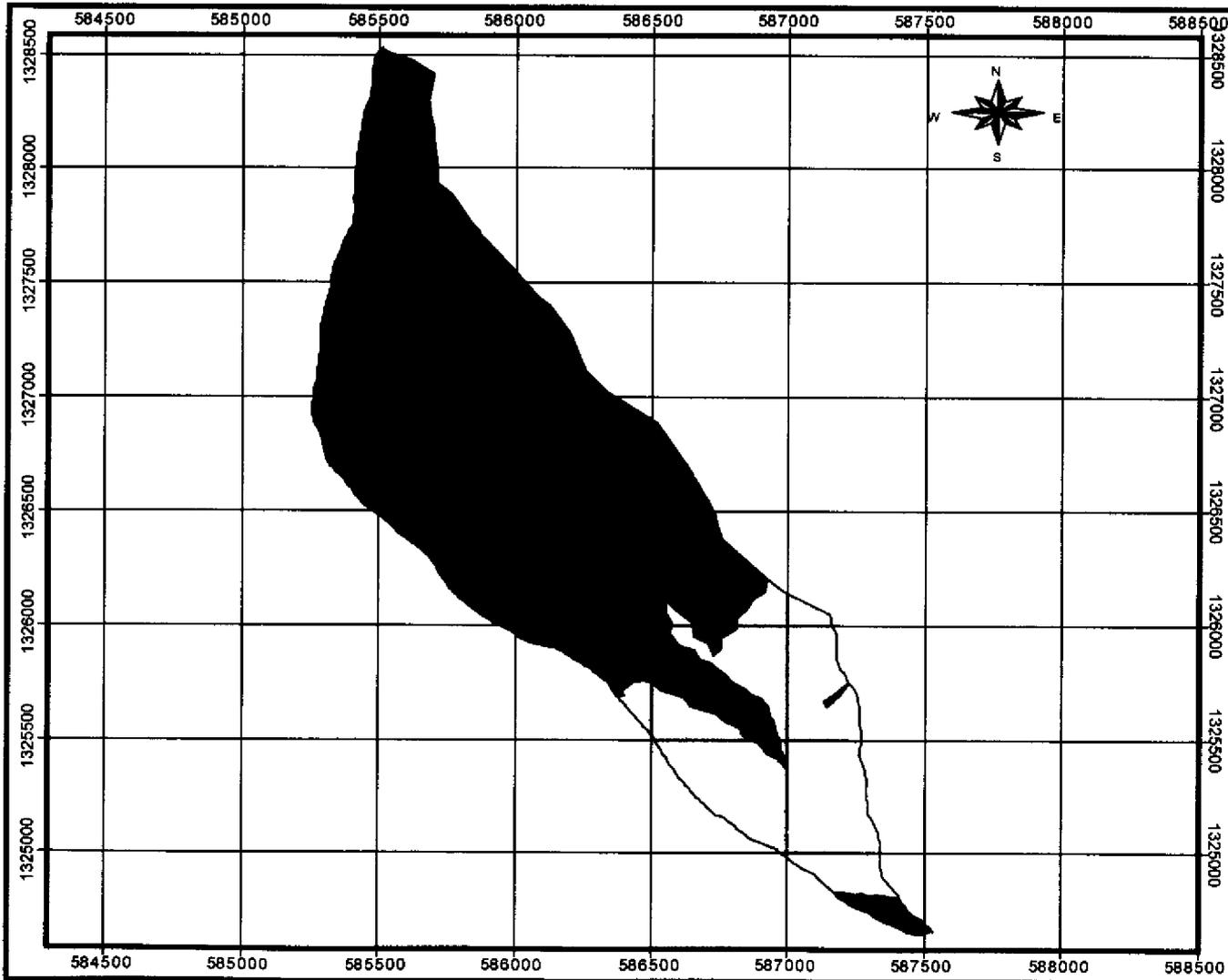
Proyección:
NAD 27, Zona 16

Esférico:
Clarke 1866

Cálculo y Diseño:
Br. Mario César Gutiérrez Alarcón

Universidad Nacional Agraria
Managua, Nicaragua
Agosto 2003

Anexo 3. Mapa de uso actual de la Microcuenca 7



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

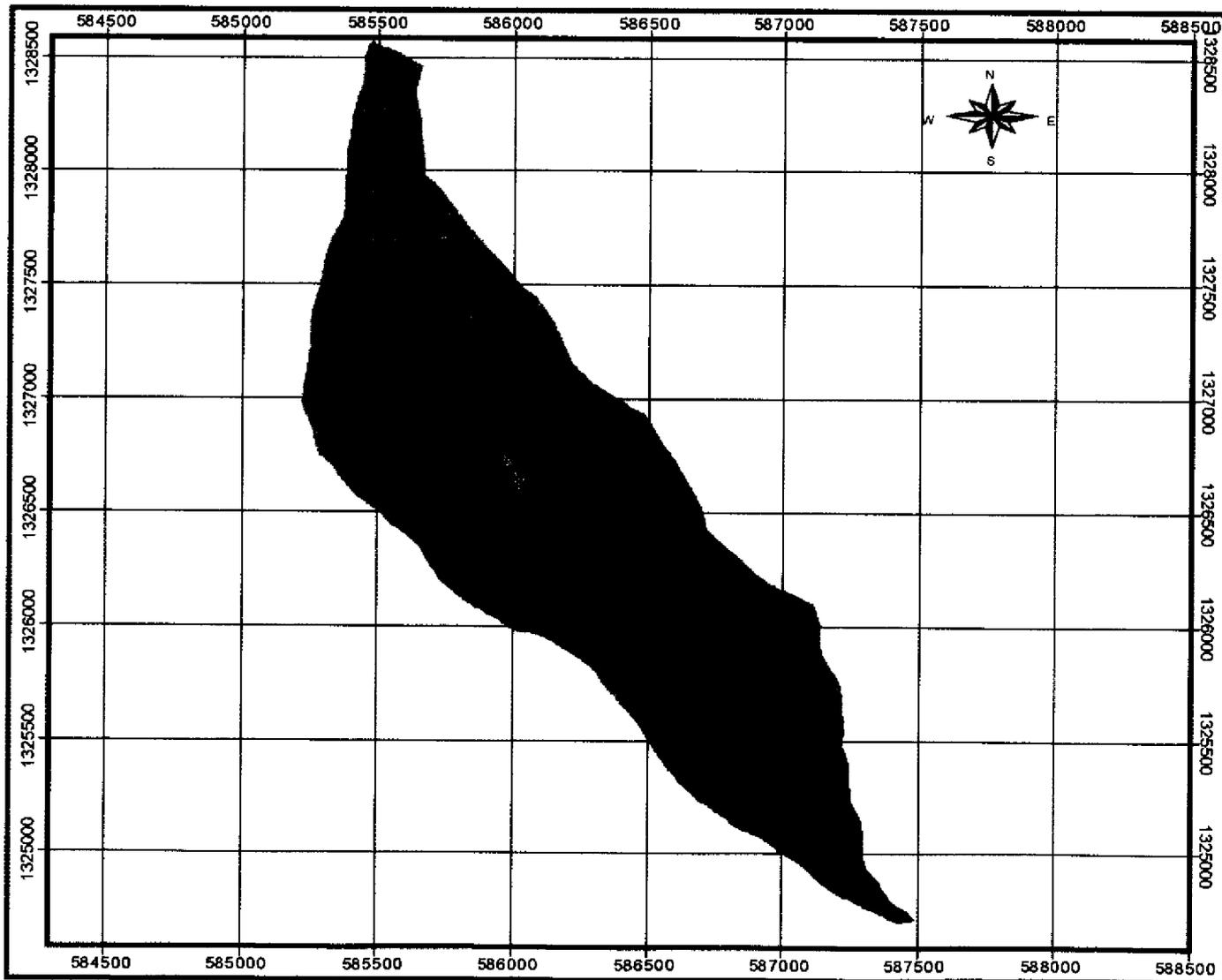
Escala
1:24000

Proyección:
NAD 27, Zona 16

Esferoide:
Clarke 1866

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

Anexo 4. Mapa de elevación digital de la Microcuenca 7



MAPA DE ELEVACIÓN DIGITAL

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

Leyenda

Rango de elevación	
	300 - 325
	325 - 350
	350 - 375
	375 - 400
	400 - 425
	425 - 450
	450 - 475
	475 - 500

Área total
266.81 Hectáreas

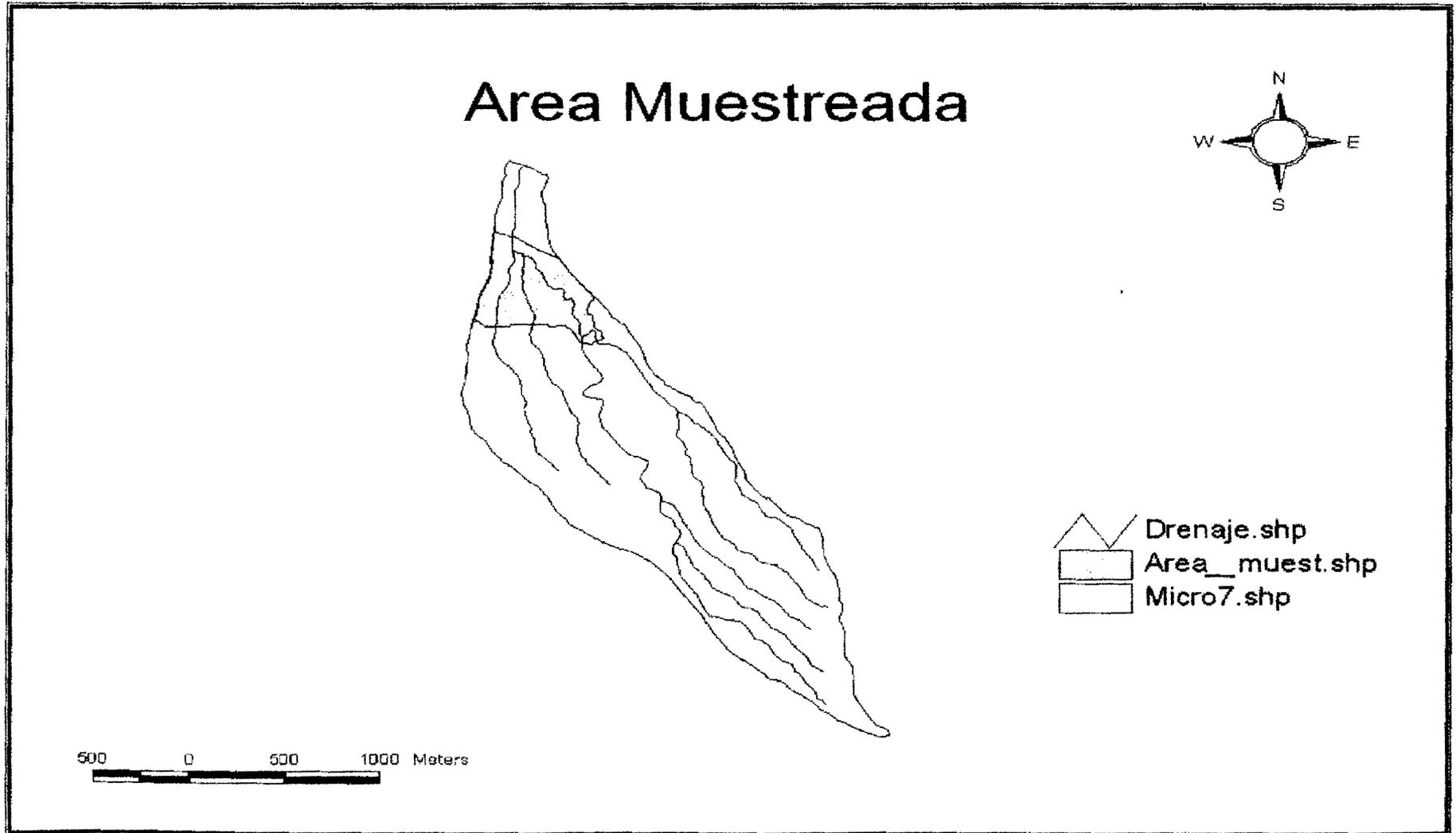
Escala
1:24000

Proyección:
NAD 27, Zona 16

Esférico:
Clarke 1866

Cálculo y Diseño:
Br. Mario César Gutiérrez Alarcón

Universidad Nacional Agraria
Managua, Nicaragua
Ago 2003



Anexo 6. Características de la serie San Ignacio

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

Anexo 7. Características de la serie Casa Blanca.

Especificaciones		Descripción		
Horizontes		A	B	C
Profundidad (cm)		42	50	
Granulometría (%)	Arena	60	65	Este horizonte está formado por una capa de talpetate fracturado
	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	

Anexo 8. Tabla de Coeficiente de escorrentía "C".

COEFICIENTE DE ESCORRENTIA "C", para usarse en formula Racional
 $Q = C. I. A. /360$

TOPOGRAFIA Y VEGETACION	TEXTURA DEL SUELO		
	FRANCO ARENOSO	FRANCO ARCILLOSO- ARENOSO	ARCILLA COMPACTA
Bosques			
Pendientes:			
0 - 5%	0.10	0.30	0.40
5 - 10%	0.25	0.35	0.50
10- 30%	0.30	0.50	0.60
Pastizales			
Pendiente:			
0 - 5%	0.10	0.30	0.40
5 - 10%	0.18	0.36	0.55
10- 30%	0.22	0.42	0.60
Cultivado			
Pendiente:			
0 - 5%	0.30	0.50	0.60
5 - 10%	0.40	0.60	0.70
10- 30%	0.52	0.72	0.82
Zona Urbana:	30% arena impermeable	50% arena impermeable	70% arena impermeable
Plano (0 - 5%)	0.40	0.55	0.65
Ondulado (5 - 10%)	0.50	0.66	0.80

Anexo 9. Tabla de valores de “n” propuestas por Horton.

VALORES DE “n” PROPUESTOS POR HORTON				
SUPERFICIE	CONDICIONES DE PAREDES			
	PERFECTAS	BUENAS	MEDIA BUENAS	MALAS
1) Bordes limpios, rectos, sin hendiduras, ni charcos profundos.	0.025	0.0275	0.030	0.033
2) Igual al (1), pero con algunas piedras.	0.030	0.033	0.035	0.040
3) Sinuoso, algunos charcos y escollos, limpio.	0.033	0.035	0.040	0.045
4) Igual al (3), pero de poco tirante, con pendiente y sección menos eficiente.	0.040	0.045	0.050	0.055
5) Igual al (3) pero algo de hierbas y piedras.	0.035	0.040	0.045	0.050
6) Igual al (4), secciones pedregosas.	0.045	0.050	0.055	0.060
7) Ríos perezosos, cauce enyerbado con charcos profundos.	0.050	0.060	0.070	0.080
8) Playas muy enyerbadas.	0.075	0.100	0.125	0.150

Anexo 10. Tabla Velocidad del flujo permisible v_n . En m/s para escurrimiento sin erosión.

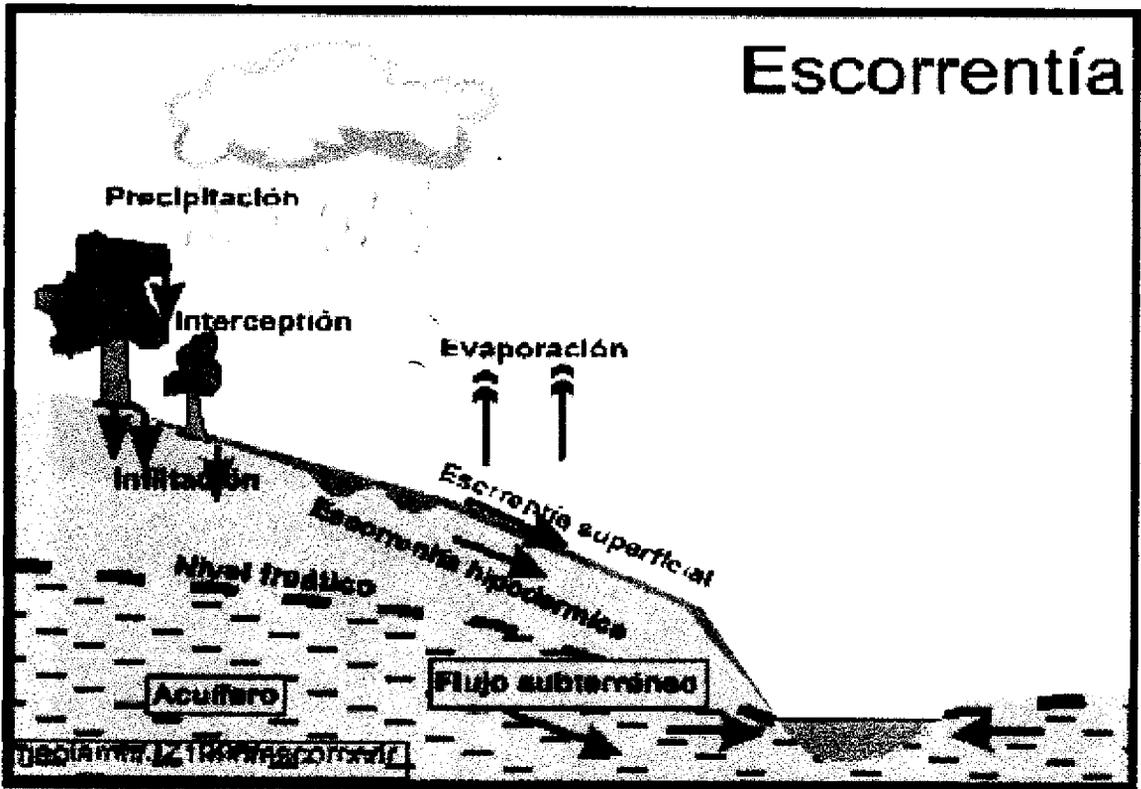
Tipo de Material	Tirante h en metros		
	0.5	1.0	50.
Roca (sedimentaria e ignea)	1.7 – 6.3	2.1 – 7.7	3 – 11
Canal de Madera	26 – 29	28 – 32	34 – 38
Revestimiento de concreto	9.6 – 15.6	10.6 – 17.3	13 – 21.2
Revestimiento/mampostería de piedra	4.3 – 7.4	5 – 8.7	6.7 – 11.6

Azevedo Netto-G.A. Álvarez plantea los siguientes valores:

Anexo 11. Tabla Velocidad del flujo permisible para escurrimiento sin erosión.

MATERIAL	$v_n.e.$ (m/s)
Canales arenosos	0.30
Arcilla arenosa	0.40
Materiales aglomerados consistentes	2.00
Muro de piedra	2.50
Canales en roca compacta	4.00
Canales de concreto	4.50

Anexo 12. Esquema del proceso de escorrentía.



Anexo 13. Foto del Pluviógrafo



Anexo 14. Base de datos para calcular las áreas

$$A = d \sum h_i; \quad r = A/P$$

$$A_1 = ? \quad A_1 = 1.7(1.05+1.30+1.30)$$

$$d = 5.13\text{m} \quad A_1 = 6.24\text{m}^2$$

$$h_1 = 1.05\text{m}$$

$$h_2 = 1.30\text{m}$$

$$h_3 = 1.30\text{m}$$

$$r_1 = ? \quad r_1 = 6.24\text{m}^2/11.13\text{m}$$

$$A_1 = 6.24\text{m}^2 \quad r_1 = 0.561\text{m}$$

$$P = 11.13\text{m}$$

$$A_2 = ? \quad A_2 = 1.43(1.42+1.28+1.28)$$

$$d_2 = 4.98 \quad A_2 = 5.69\text{m}^2$$

$$h_1 = 1.42$$

$$h_2 = 1.28$$

$$h_3 = 1.28$$

$$r_2 = ? \quad r_2 = 5.69\text{m}^2/10.98\text{m}$$

$$A_2 = 5.69\text{m}^2 \quad r_2 = 0.518\text{m}$$

$$P_2 = 10.98\text{m}$$

$$A_3 = ? \quad A_3 = 1.71(1.2+1.3+1.3)$$

$$d_3 = 5.15\text{m} \quad A_3 = 6.5\text{m}^2$$

$$h_1 = 1.2\text{m}$$

$$h_2 = 1.3\text{m}$$

$$h_3 = 1.3\text{m}$$

$$r_3 = ? \quad r_3 = 6.5\text{m}^2/11.95\text{m}$$

$$A_3 = 6.5\text{m}^2 \quad r_3 = 0.544\text{m}$$

$$P_3 = 11.95\text{m}$$

$$A_4 = ? \quad A_4 = 2.1(1.2+1.7+1.7)$$

$$d_4 = 6.20\text{m} \quad A_4 = 9.66\text{m}^2$$

$$h_1 = 1.20\text{m}$$

$$h_2 = 1.7\text{m}$$

$$h_3 = 1.7\text{m}$$

$$r_4 = ? \quad r_4 = 9.66\text{m}^2/12.8\text{m}$$

$$A_4 = 9.66\text{m}^2 \quad r_4 = 0.755\text{m}$$

$$P_4 = 12.8\text{m}$$

$$A_5 = ?$$

$$d_5 = 4.85\text{m}$$

$$h_1 = 0.9\text{m}$$

$$h_2 = 0.7\text{m}$$

$$h_3 = 0.7\text{m}$$

$$r_5 = ? \quad r_5 = 3.73\text{m}^2/10.30\text{m}$$

$$A_5 = 3.73\text{m}^2 \quad r_5 = 0.362\text{m}$$

$$P_5 = 10.30\text{m}$$

$$A_6 = ? \quad A_6 = 1.73(1.12+1.13+0.95+0.95)$$

$$A_6 = 7.20\text{m}^2$$

$$d_6 = 6.92\text{m}$$

$$h_1 = 1.12\text{m}$$

$$h_2 = 1.13\text{m}$$

$$h_3 = 0.95\text{m}$$

$$h_4 = 0.95\text{m}$$

$$r_6 = ? \quad r_6 = 7.20\text{m}^2/14.12$$

$$A_6 = 7.20\text{m}^2 \quad r_6 = 0.510\text{m}$$

$$P_6 = 14.12\text{m}$$

Anexo 16. Base de datos de Precipitación

		Date Time	Event (eventos)
Serial Number:	502973	--	Series: Event
(eventos)			
Date Time	Event (eventos)		
05/13/03 14:18:40.0	0	05/13/03 17:33:33.0	53
05/13/03 17:00:14.0	1	05/13/03 17:34:01.0	54
05/13/03 17:00:29.5	2	05/13/03 17:34:45.0	55
05/13/03 17:00:44.0	3	05/13/03 17:35:23.5	56
05/13/03 17:00:45.5	4	05/13/03 17:36:08.5	57
05/13/03 17:00:48.5	5	05/13/03 17:36:51.0	58
05/13/03 17:05:00.5	6	05/13/03 17:37:36.0	59
05/13/03 17:06:19.0	7	05/13/03 17:37:36.5	60
05/13/03 17:09:45.5	8	05/13/03 17:38:18.0	61
05/13/03 17:10:21.0	9	05/13/03 17:39:02.0	62
05/13/03 17:10:21.5	10	05/13/03 17:39:39.5	63
05/13/03 17:10:52.5	11	05/13/03 17:40:11.0	64
05/13/03 17:11:25.5	12	05/13/03 17:40:42.5	65
05/13/03 17:11:55.5	13	05/13/03 17:41:27.5	66
05/13/03 17:12:30.5	14	05/13/03 17:42:09.5	67
05/13/03 17:12:31.0	15	05/13/03 17:42:57.5	68
05/13/03 17:13:03.5	16	05/13/03 17:43:41.5	69
05/13/03 17:13:04.0	17	05/13/03 17:44:30.5	70
05/13/03 17:13:42.0	18	05/13/03 17:45:15.0	71
05/13/03 17:14:25.0	19	05/13/03 17:46:05.0	72
05/13/03 17:14:48.5	20	05/13/03 17:46:24.5	73
05/13/03 17:15:20.5	21	05/13/03 17:46:59.5	74
05/13/03 17:16:01.5	22	05/13/03 17:47:44.0	75
05/13/03 17:16:31.5	23	05/13/03 17:48:33.5	76
05/13/03 17:17:06.5	24	05/13/03 17:49:16.5	77
05/13/03 17:17:40.0	25	05/13/03 17:50:06.0	78
05/13/03 17:18:19.0	26	05/13/03 17:50:06.5	79
05/13/03 17:18:54.5	27	05/13/03 17:50:50.5	80
05/13/03 17:19:34.5	28	05/13/03 17:51:37.0	81
05/13/03 17:19:34.5	28	05/13/03 17:52:22.0	82
05/13/03 17:20:10.0	29	05/13/03 17:53:08.0	83
05/13/03 17:20:53.5	30	05/13/03 17:53:49.5	84
05/13/03 17:21:35.0	31	05/13/03 17:53:50.0	85
05/13/03 17:22:11.0	32	05/13/03 17:54:07.0	86
05/13/03 17:22:11.5	33	05/13/03 17:54:46.5	87
05/13/03 17:22:45.5	34	05/13/03 17:55:34.5	88
05/13/03 17:22:46.0	35	05/13/03 17:56:16.5	89
05/13/03 17:23:25.0	36	05/13/03 17:57:06.0	90
05/13/03 17:23:49.0	37	05/13/03 17:57:49.0	91
05/13/03 17:24:31.5	38	05/13/03 17:58:37.5	92
05/13/03 17:25:04.0	39	05/13/03 17:59:00.0	93
05/13/03 17:25:46.0	40	05/13/03 17:59:00.5	94
05/13/03 17:26:24.0	41	05/13/03 17:59:48.0	95
05/13/03 17:27:07.5	42	05/13/03 18:00:25.0	96
05/13/03 17:27:44.5	43	05/13/03 18:01:13.0	97
05/13/03 17:28:22.5	44	05/13/03 18:01:54.0	98
05/13/03 17:28:23.0	45	05/13/03 18:02:26.5	99
05/13/03 17:28:56.0	46	05/13/03 18:03:16.5	100
05/13/03 17:29:39.0	47	05/13/03 18:04:11.5	101
05/13/03 17:30:18.0	48	05/13/03 18:05:01.0	102
05/13/03 17:31:00.5	49	05/13/03 18:06:00.5	103
05/13/03 17:31:38.0	50	05/13/03 18:06:54.5	104
05/13/03 17:32:21.0	51	05/13/03 18:07:52.0	105
05/13/03 17:32:59.5	52	05/13/03 18:07:52.5	106
		05/13/03 18:08:24.0	107
		05/13/03 18:09:04.5	108
		05/13/03 18:09:58.0	109
		05/13/03 18:10:58.5	110

Date Time	Event (eventos)	Date Time	Event (eventos)
05/13/03 18:11:53.0	111	05/13/03 19:04:26.0	169
05/13/03 18:12:51.0	112	05/13/03 19:05:37.0	170
05/13/03 18:13:46.0	113	05/13/03 19:07:02.5	171
05/13/03 18:14:44.5	114	05/13/03 19:08:11.0	172
05/13/03 18:15:40.5	115	05/13/03 19:09:38.5	173
05/13/03 18:16:14.5	116	05/13/03 19:09:39.0	174
05/13/03 18:16:59.5	117	05/13/03 19:10:34.0	175
05/13/03 18:17:58.0	118	05/13/03 19:10:34.5	176
05/13/03 18:18:49.0	119	05/13/03 19:11:28.0	177
05/13/03 18:19:51.5	120	05/13/03 19:12:45.0	178
05/13/03 18:19:52.0	121	05/13/03 19:12:45.5	179
05/13/03 18:20:49.0	122	05/13/03 19:14:15.5	180
05/13/03 18:21:50.5	123	05/13/03 19:15:33.5	181
05/13/03 18:22:47.0	124	05/13/03 19:16:59.5	182
05/13/03 18:22:47.5	125	05/13/03 19:18:16.5	183
05/13/03 18:23:53.0	126	05/13/03 19:18:17.0	184
05/13/03 18:24:46.0	127	05/13/03 19:19:47.5	185
05/13/03 18:25:11.5	128	05/13/03 19:20:11.5	186
05/13/03 18:26:14.0	129	05/13/03 19:21:34.5	187
05/13/03 18:27:17.5	130	05/13/03 19:22:59.5	188
05/13/03 18:28:18.0	131	05/13/03 19:23:00.0	189
05/13/03 18:29:26.0	132	05/13/03 19:24:28.5	190
05/13/03 18:30:27.0	133	05/13/03 19:25:39.5	191
05/13/03 18:31:34.5	134	05/13/03 19:27:09.5	192
05/13/03 18:32:36.0	135	05/13/03 19:28:22.5	193
05/13/03 18:33:43.5	136	05/13/03 19:28:23.0	194
05/13/03 18:33:58.0	137	05/13/03 19:29:52.5	195
05/13/03 18:35:07.0	138	05/13/03 19:31:14.0	196
05/13/03 18:36:12.5	139	05/13/03 19:32:36.5	197
05/13/03 18:37:22.0	140	05/13/03 19:33:58.5	198
05/13/03 18:37:22.5	141	05/13/03 19:34:32.0	199
05/13/03 18:38:24.0	142	05/13/03 19:35:47.5	200
05/13/03 18:39:35.0	143	05/13/03 19:37:19.0	201
05/13/03 18:40:42.0	144	05/13/03 19:38:32.5	202
05/13/03 18:41:53.5	145	05/13/03 19:40:12.0	203
05/13/03 18:42:35.5	146	05/13/03 19:41:33.0	204
05/13/03 18:43:34.0	147	05/13/03 19:43:07.0	205
05/13/03 18:44:42.5	148	05/13/03 19:44:30.0	206
05/13/03 18:44:43.0	149	05/13/03 19:45:57.5	207
05/13/03 18:45:58.0	150	05/13/03 19:47:23.0	208
05/13/03 18:45:58.5	151	05/13/03 19:48:12.0	209
05/13/03 18:47:03.0	152	05/13/03 19:48:12.5	210
05/13/03 18:48:19.5	153	05/13/03 19:49:34.5	211
05/13/03 18:49:25.5	154	05/13/03 19:51:13.5	212
05/13/03 18:49:26.0	155	05/13/03 19:52:45.0	213
05/13/03 18:50:44.5	156	05/13/03 19:52:45.5	214
05/13/03 18:51:17.0	157	05/13/03 19:54:18.0	215
05/13/03 18:52:28.5	158	05/13/03 19:55:43.5	216
05/13/03 18:53:41.5	159	05/13/03 19:57:24.0	217
05/13/03 18:54:57.5	160	05/13/03 19:58:55.5	218
05/13/03 18:56:06.0	161	05/13/03 20:00:29.5	219
05/13/03 18:57:29.0	162	05/13/03 20:01:59.5	220
05/13/03 18:58:40.0	163	05/13/03 20:03:31.5	221
05/13/03 18:58:40.5	164	05/13/03 20:04:22.5	222
05/13/03 18:59:56.0	165	05/13/03 20:04:23.0	223
05/13/03 19:00:28.5	166	05/13/03 20:06:10.0	224
05/13/03 19:01:50.5	167	05/13/03 20:07:42.5	225
05/13/03 19:03:04.0	168	05/13/03 20:07:43.0	226

Date Time	Event (eventos)	Date Time	Event (eventos)
05/13/03 20:09:24.0	227	05/13/03 21:30:55.0	285
05/13/03 20:09:24.5	228	05/13/03 21:33:10.5	286
05/13/03 20:10:58.5	229	05/13/03 21:34:23.0	287
05/13/03 20:12:49.0	230	05/13/03 21:36:32.0	288
05/13/03 20:14:22.0	231	05/13/03 21:38:37.0	289
05/13/03 20:15:51.0	232	05/13/03 21:38:37.5	290
05/13/03 20:16:37.5	233	05/13/03 21:40:51.0	291
05/13/03 20:16:38.0	234	05/13/03 21:42:48.0	292
05/13/03 20:18:27.0	235	05/13/03 21:45:18.5	293
05/13/03 20:20:01.0	236	05/13/03 21:47:24.5	294
05/13/03 20:21:46.0	237	05/13/03 21:50:06.0	295
05/13/03 20:23:15.5	238	05/13/03 21:51:34.0	296
05/13/03 20:25:08.0	239	05/13/03 21:51:34.5	297
05/13/03 20:26:37.0	240	05/13/03 21:53:17.0	298
05/13/03 20:28:30.0	241	05/13/03 21:55:32.5	299
05/13/03 20:30:09.5	242	05/13/03 21:58:23.5	300
05/13/03 20:30:49.5	243	05/13/03 21:58:24.0	301
05/13/03 20:32:18.0	244	05/13/03 22:00:38.5	302
05/13/03 20:34:17.0	245	05/13/03 22:03:17.5	303
05/13/03 20:35:53.5	246	05/13/03 22:03:18.0	304
05/13/03 20:37:52.0	247	05/13/03 22:03:58.0	305
05/13/03 20:39:27.0	248	05/13/03 22:03:58.5	306
05/13/03 20:39:27.5	249	05/13/03 22:06:47.0	307
05/13/03 20:41:34.0	250	05/13/03 22:06:47.5	308
05/13/03 20:41:34.5	251	05/13/03 22:09:17.5	309
05/13/03 20:42:31.0	252	05/13/03 22:12:16.0	310
05/13/03 20:44:22.0	253	05/13/03 22:14:41.0	311
05/13/03 20:44:22.5	254	05/13/03 22:16:01.5	312
05/13/03 20:46:09.5	255	05/13/03 22:18:20.5	313
05/13/03 20:48:04.0	256	05/13/03 22:21:11.5	314
05/13/03 20:49:30.0	257	05/13/03 22:23:31.5	315
05/13/03 20:51:10.5	258	05/13/03 22:26:23.0	316
05/13/03 20:51:11.0	259	05/13/03 22:26:23.5	317
05/13/03 20:52:52.5	260	05/13/03 22:28:55.0	318
05/13/03 20:55:00.0	261	05/13/03 22:31:45.0	319
05/13/03 20:56:45.0	262	05/13/03 22:34:28.5	320
05/13/03 20:58:46.0	263	05/13/03 22:37:03.5	321
05/13/03 20:58:46.5	264	05/13/03 22:38:01.0	322
05/13/03 21:00:40.0	265	05/13/03 22:40:40.5	323
05/13/03 21:02:46.5	266	05/13/03 22:42:58.0	324
05/13/03 21:04:35.0	267	05/13/03 22:45:34.5	325
05/13/03 21:06:49.0	268	05/13/03 22:47:43.0	326
05/13/03 21:06:49.5	269	05/13/03 22:47:43.5	327
05/13/03 21:07:16.5	270	05/13/03 22:50:50.0	328
05/13/03 21:07:17.0	271	05/13/03 22:53:26.0	329
05/13/03 21:09:36.0	272	05/13/03 22:56:27.5	330
05/13/03 21:11:29.0	273	05/13/03 22:56:28.0	331
05/13/03 21:13:31.5	274	05/13/03 22:59:04.5	332
05/13/03 21:15:09.5	275	05/13/03 23:00:26.5	333
05/13/03 21:17:14.5	276	05/13/03 23:00:27.0	334
05/13/03 21:17:15.0	277	05/13/03 23:02:46.5	335
05/13/03 21:18:20.5	278	05/13/03 23:02:47.0	336
05/13/03 21:20:31.0	279	05/13/03 23:05:56.0	337
05/13/03 21:20:31.5	280	05/13/03 23:08:44.5	338
05/13/03 21:22:25.5	281	05/13/03 23:08:45.0	339
05/13/03 21:24:47.5	282	05/13/03 23:12:17.5	340
05/13/03 21:26:40.0	283	05/13/03 23:16:28.5	341
05/13/03 21:29:01.5	284	05/14/03 03:23:57.5	342
		05/16/03 12:30:37.0	342