

**UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA**  
**Facultad de Recursos Naturales y del Ambiente**  
**FARENA**



**TRABAJO DE DIPLOMA**

**Evaluación de la erosión hídrica en el sistema productivo de café  
(*Coffea arabica* L.) de la Finca El Jardín y el efecto del uso y manejo de  
la tierra en la Quebrada del Río El Cairo, Managua, Nicaragua.**

**Autor(es):**

**Br. Claudio Joel González Espino**

**Br. Gerardo Javier Pozo Molina**

**Asesor(es):**

**Ph.D. Domingo Rivas Cerda**

**Ing. Andrés López**

**Managua, Nicaragua**

**Agosto, 2007**



## ÍNDICE GENERAL

	<b>Pág</b>
<b>INDICE GENERAL</b>	I
<b>INDICE DE TABLAS</b>	III
<b>INDICE DE FIGURAS</b>	III
<b>INDICE DE MAPAS</b>	IV
<b>INDICE DE ANEXOS</b>	IV
<b>DEDICATORIA</b>	V
<b>AGRADECIMIENTO</b>	VII
<b>RESUMEN</b>	VIII
<b>SUMMARY</b>	X
<b>I. INTRODUCCION</b>	1
Objetivo general	3
Objetivos específicos	3
<b>II. REVISION DE LITERATURA</b>	4
2.1. Cuenca hidrográfica	4
2.1.1. Definición de cuenca hidrográfica	4
2.1.2. Importancia de la cuenca hidrográfica	4
2.1.3. División espacial de una cuenca hidrográfica	4
2.1.4. Zonas y partes de una cuenca hidrográfica	5
2.2. Erosión de suelos	6
2.2.1. Procesos de erosión	6
2.2.2. Formas de erosión	7
2.2.3. Método para medir erosión de suelo	7
2.2.3.1. Parcelas de escorrentía o parcelas USLE	7
2.2.4. Método para estimar erosión	8
2.2.4.1. Ecuación Universal de Pérdida de Suelo (EUPS)	8
2.2.4.2. Unidades	9
2.2.4.3. Ventajas y limitaciones de la EUPS	10
2.2.4.4. Ecuación Universal Revisada de Pérdida de Suelo	10
2.2.5. Tolerancia de pérdida de suelo	11
2.2.6. Riesgo de erosión actual y potencial	11
2.3. Sistema de Información Geográfico (SIG)	12
2.4. Importancia del café ( <i>Coffea arabiga L</i> )	12
2.4.1. Beneficios ecológicos asociados a las plantaciones de café	12
2.4.2. Ventaja ambientales del cultivo de café	13
2.4.2.1. Protección contra la erosión	13
2.4.2.2. Efectos sobre los suelos	13
<b>III. MATERIALES Y METODOS</b>	14
3.1. Descripción del área de estudio	14
3.2. Características biofísicas	15
3.2.1. Fisiografía	15

3.2.2. Geología	15
3.2.3. Clima	15
3.2.4. Suelos	15
3.2.5. Hidrología	16
3.2.6. Uso actual de la tierra	16
3.3. Proceso metodológico	16
3.4. Etapa de pre campo	18
3.5. Etapa de campo	18
3.5.1. Establecimiento de las parcelas de erosión	18
3.5.2. Descripción de los tratamientos productivos	19
3.6. Etapa de post campo	20
3.6.1. Procesamiento de cálculo de escorrentía	20
3.6.2. Procesamiento de cálculo de concentración de sedimentos	22
3.6.3. Procesamiento de cálculo de pérdida de suelo	22
3.7. Metodología para la EUPS aplicando el SIG	23
3.7.1. Factor erosividad de la lluvia (R)	23
3.7.2. Factor erodabilidad del suelo (K)	24
3.7.3. Factor longitud y gradiente de la pendiente (LS)	24
3.7.4. Factor cobertura vegetal (C)	24
3.7.5. Factor prácticas de conservación de suelo (P)	25
3.8. Generación de mapas de riesgo de erosión	26
<b>IV. RESULTADOS Y DISCUSIÓN</b>	<b>27</b>
4.1. Pérdida de suelo en parcelas de escorrentía	27
4.2. Volumen de escorrentía	29
4.3. Concentración de sedimentos	29
4.4. Pérdida de suelo utilizando el modelo EUPS	30
4.4.1. Determinación de los factores EUPS	30
4.4.1.1. Factor erosividad de la lluvia (R)	30
4.4.1.2. Factor erodabilidad del suelo (K)	31
4.4.1.3. Factor longitud y gradiente de la pendiente (LS)	33
4.4.1.4. Factor cobertura vegetal (C)	36
4.4.1.5. Factor prácticas de conservación de suelo (P)	36
4.4.2. Erosión hídrica actual y potencial	38
<b>V. CONCLUSIONES</b>	<b>42</b>
<b>VI. RECOMENDACIONES</b>	<b>44</b>
<b>VII. BIBLIOGRAFIA</b>	<b>45</b>
<b>VIII. ANEXOS</b>	<b>47</b>

## ÍNDICE DE TABLAS

<b>Nº</b>		<b>Pág.</b>
1	Criterios utilizados para la clasificación de cuencas	5
2	Unidades de medida de los factores de la EUPS	9
3	Clases de degradación por erosión hídrica	11
4	Valores referenciales del índice de factor de uso y manejo del suelo (C)	25
5	Cálculo del factor K por serie de suelo, Quebrada del Río El Cairo, microcuenca III, subcuenca Sur del Lago de Managua, 2005	31
6	Resultados del factor LS, Quebrada del Río El Cairo, microcuenca III, subcuenca Sur del Lago de Managua, 2005.	33
7	Resultados de erosión hídrica actual, Quebrada del Río El Cairo, microcuenca III, subcuenca Sur del lago de Managua ,2005.	38
8	Resultados de erosión hídrica potencial, Quebrada del Río El Cairo, microcuenca III, subcuenca Sur del lago de Managua ,2005.	39

## ÍNDICE DE FIGURAS

<b>Nº</b>		<b>Pág.</b>
1	Ubicación de la Finca El Jardín localizada en la Quebrada del Río El Cairo, microcuenca III, subcuenca Sur del Lago de Managua, 2005	14
2	Esquema metodológico de las etapas de la elaboración del estudio	17
3	Pérdida de suelo total en el sistema productivo de café, Finca El Jardín, Quebrada del Río El Cairo, microcuenca III, subcuenca Sur del Lago de Managua, 2005	28
4	Distribución de pérdidas de suelo mensual en el sistema productivo de café, Finca El Jardín, Quebrada del Río El Cairo, microcuenca III, subcuenca Sur del Lago de Managua, 2005.	29
5	Distribución de precipitaciones mensuales, 2005, Finca El Jardín, Quebrada del Río El Cairo, microcuenca III, subcuenca Sur del Lago de Managua.	30

## ÍNDICE DE MAPAS

<b>Nº</b>		<b>Pág.</b>
1	Mapa del factor erodabilidad (K), Quebrada del Río El Cairo, microcuenca III, subcuenca Sur del Lago de Managua.	32
2	Mapa de Elevación Digital del Terreno (MDE), Quebrada del Río El Cairo, microcuenca III, subcuenca Sur del Lago de Managua.	34
3	Mapa del cálculo del factor LS, Quebrada del Río El Cairo, microcuenca III, subcuenca Sur del Lago de Managua.	35
4	Mapa del factor cobertura vegetal (C), Quebrada del Río El Cairo, microcuenca III, subcuenca Sur del Lago de Managua.	37
5	Mapa de riesgo de erosión actual, Quebrada de Río El Cairo, microcuenca III, subcuenca Sur del Lago de Managua.	40
6	Mapa de riesgo de erosión potencial, Quebrada del Río El Cairo, microcuenca III, subcuenca Sur del Lago de Managua.	41

## ÍNDICE DE ANEXOS

<b>Nº</b>		<b>Pág.</b>
1	Descripción del perfil del suelo Serie San Marcos (MC).	48
2	Descripción del perfil del suelo Serie San Ignacio (SI).	50
3	Descripción del perfil del suelo Serie Pacaya (PY).	51
4	Resumen meteorológico anual – Estación La Primavera	53
5	Proceso del cálculo del factor R	54
6	Nomograma para el cálculo del factor K	55
7	Tratamientos del sistema de producción de café en la Finca El Jardín	56

## **DEDICATORIA**

A Jehová nuestro Dios por haberme dado la vida, salud, sabiduría y beligerancia para poder salir adelante y lograr la meta de llegar hacer un profesional.

A mis padres Ing. Claudio Arsenio Calero González y Sra. Damaris Espino por darme su valioso apoyo , que con amor y sacrificios me han brindado su ayuda a través de todo el largo camino de mis estudios.

A mi querida esposa Gabriela Iveth Gómez Baldioseda por su constante apoyo, estímulo, fortaleza y por ser parte fundamental en mi vida.

A mi abuelita Ramona del Socorro Calero Vivas por sus constantes consejos y apoyo moral.

A mis hermanos y familia que hicieron posible mi preparación profesional.

Y a todos mis amigos y compañeros de clases que siempre me apoyaron en la culminación de mi carrera.

***Claudio Joel González Espino***

## DEDICATORIA

Agradezco primeramente a Dios por prestarnos la vida y por bendecir nuestro camino para formarnos como personas y ser alguien en la vida.

A mi mamá Dra. Bernardita Molina por ser un ejemplo de superación, quien me dió la oportunidad de ser un profesional y por brindarme su apoyo incondicional de un padre y una madre a la misma vez, confiando en mis buenos principios y realizando mis sueños de ser un profesional.

A mi hermano Raúl Molina por brindar su apoyo en los momentos difíciles y a toda mi familia.

A mi abuelita Maria Molina por sus constantes consejos y apoyo durante mi carrera.

***Gerardo Javier Pozo Molina***

## **AGRADECIMIENTO**

Agradecemos a Dios por darnos la vida, la salud y las fuerzas necesarias para finalizar nuestra carrera.

Al Programa Socioambiental y Desarrollo Forestal (MARENA-POSAF II) y a la Consultoría “Valoración Económica de Servicios Ambientales” (VESA) por el apoyo financiero recibido durante la realización de este trabajo.

A la Universidad Nacional Agraria (UNA) y a la Facultad de Recursos Naturales y del Ambiente (FARENA) por permitirnos participar como asistentes de campo en la Consultoría VESA – POSAF, cuyos resultados nos permitieron realizar nuestro trabajo de diploma.

Muy especialmente a nuestro asesor Ph.D. Domingo Rivas Cerda, por la conducción y el apoyo para la elaboración de este trabajo.

Al Ing. Andrés López por habernos brindado su apoyo para la realización de los trabajos de SIG.

Al Ing. Claudio Calero González y al Ing. Edmundo Umaña que como profesionales aportaron conocimientos valiosos para la culminación de este trabajo de diploma.

A nuestros compañeros de clases del quinto año de Ingeniería en Recursos Naturales Renovables (2006) y demás amigos que confiaron en nosotros y nos brindaron su apoyo.

R

VIII

## ESUMEN

Este estudio se realizó con el propósito de evaluar las pérdidas de suelo en los sistemas productivos de café con prácticas promovidas por el POSAF II (Programa Socio-Ambiental y Desarrollo Forestal), durante el período lluvioso comprendido de julio a octubre (2005) en la Quebrada del Río El Cairo, que pertenece a la microcuenca III de la subcuenca Sur del Lago de Managua.

Las metodologías empleadas consistieron en medir la erosión en parcelas de escorrentía tipo Wischmeier a nivel del sistema productivo y estimación de la erosión usando el modelo de la Ecuación Universal de Pérdida de Suelo (EUPS). El sistema productivo evaluado a nivel de parcelas fue plantación de café con sombra (PCS) en producción y plantación nueva de café (PNC). Las variables evaluadas fueron: pérdida de suelo (ton/ha), volumen de escorrentía (m<sup>3</sup>/ha) y concentración de sedimentos (g/l).

A nivel de microcuenca fue determinada la tasa de erosión debido a cambios en el uso de la tierra, o sea, cambios en los valores del factor cobertura vegetal (C). Otros parámetros determinados fueron: erodabilidad del suelo (K), erosividad de la lluvia (R), longitud y gradiente de la pendiente (LS).

Los resultados obtenidos fueron en cantidad de suelo perdido de 0.33 ton/ha para la PCS y 0.71 ton/ha para la PNC. La concentración de sedimentos fue de 1.28 g/l para PCS y 2.19 g/l para la PNC. El volumen de escorrentía para la PCS fue de 225 m<sup>3</sup>/ha y de 311 m<sup>3</sup>/ha para PNC.

Los valores encontrados para el factor R fueron de 2148 MJ mm/ha h año. Los valores del factor K encontrados fueron para las series: San Marcos (MC), Pacaya (PY) y San Ignacio (SI) de 0.015, 0.014 y 0.028 ton/ha h /MJ mm ha año, respectivamente. Se encontraron diferentes rangos de LS, en la parte baja entre 30 – 44%, en la parte media de 10 – 29% y en la parte alta de 0 – 9%.

Al evaluar la erosión hídrica con el uso actual de la tierra de la microcuenca usando el modelo EUPS se determinaron tres clases de erosión: ninguna o ligera con un área de 189.4 ha (38.8%), moderada con un área de 200.4 ha (41.0%) y alta con 98.8 ha (20.2%). Al cambiar el uso actual del suelo de cultivo de café a cultivos anuales (CA), el escenario generado presenta la clasificación de muy alta (>200 ton/ha año) que incide en casi en la mitad del área de la Quebrada del Río El Cairo con 243.5 ha (49.4%).

## SUMMARY

This study was carried out with the purpose of evaluating the effect of the agroforestry practices promoted by POSAF in order to improve the environmental sustainability of coffee plantations and reduction of the soil erosion process at plot and stream levels. The study was located in high part of the stream El Cairo, which is part of the microbasin III of the south sub-basin of the Lake of Managua from July to October 2005.

The methodology comprised the measurement of the soil erosion in cropping systems using runoff plots and the estimation of the soil loss using Universal Soil Loss Equation (USLE). The evaluated cropping systems were: a) coffee plantation with trees of shadow (PCS), and b) new coffee plantation (PNC), and the variables were: soil loss (ton/ha), runoff volume (m<sup>3</sup>/ha) and sediment concentration (g/l).

The obtained results in soil loss were 0.33 and 0.71 ton/ha, for PCS and PNC respectively. The sediment concentration was 1.28 and 2.19 g/l for PCS and PNC, respectively. The runoff volume was of 225 (m<sup>3</sup>/ha) and 311 (m<sup>3</sup>/ha) for the PCS and PNC, respectively.

The model was implemented to evaluate the effect of land use change on the soil loss rate and area of the small basin. The value of R was 2,148 MJ mm/ha h year. The determined K values at the soil series were: 0.015, 0.014 and 0.028 ton ha h/ha MJ mm, for San Marcos (MC), Pacaya (PY) and San Ignacio (SI) of respectively. The potential soil erosion with the current vegetation cover were: a) 189.4 ha (38.8% of the stream area) with Any or Slightly rate, b) 200.4 ha (41.0%) classified as moderate, and c) 98.8 ha (20.2%) as High. Using a hypothetical scenario, where the areas with coffee plantation were replaced with annual crops like maize showed that half (243.5 ha).of the area to the small basin of the Quebrada El Cairo presented soil erosion rate classified as Very High (> 200 ton/ha year).



## I. INTRODUCCION

La erosión del suelo es la restricción ecológica más significativa para una producción de agricultura sostenible en tierras de laderas. Las mezcla de cultivos anuales y la baja implementación de mejores prácticas de manejo de los sistemas productivos son factores principales que originan una erosión incrementada sobre estas áreas (Oldeman, 1991). A nivel mundial, la erosión hídrica es el tipo más importante de degradación de suelos y ocupa aproximadamente 1093 millones de hectáreas (56%) del área total afectada por degradación de suelo inducida por el hombre (FAO, 2002).

Solamente en América Central, la degradación de suelos por erosión hídrica es del orden de los 46 millones de hectáreas (Oldeman, 1991). En Nicaragua, la erosión hídrica, es la forma más importante de erosión en la zona de laderas, aproximadamente 7.7 millones de hectáreas de terrenos nacionales presentan diferentes rangos de amenaza e intensidad de erosión (Gutiérrez, 2004).

Tomando en cuenta que la erosión hídrica en Nicaragua es un problema que causa graves consecuencias para la producción, se deriva el interés de muchas instituciones del estado, organismos no gubernamentales y privados para contribuir a solucionar esta problemática. Algunos ejemplos son: el Proyecto del Control de Erosión de Managua (1982), el Proyecto del Control de Erosión de Occidente (1985), el Proyecto Agroforestal "El Pital" (CARE Internacional, 1985), y la Universidad Nacional Agraria a través de estudios realizados por la Facultad de Recursos Naturales y del Ambiente sobre el proceso de erosión y prácticas de conservación que ha desarrollado desde 1989 hasta la fecha, entre los que se encuentran: Rivas (1996), Somarriba (1997), Mendoza (2001) y Gutiérrez (2004) e Izaguirre y Rojas (2004).

La erosión de suelos y el transporte de sedimentos son problemas serios en la microcuenca III. La agricultura que se practica en las laderas sin ninguna forma de conservación de suelos aporta gran cantidad de sedimentos aguas abajo. En Ticuantepe, por ejemplo, se utilizan suelos en terrenos con pendientes mayores de 50% para cultivar frijoles y piña.

Sin embargo, existe baja disponibilidad de datos sobre el efecto de la cobertura vegetal y manejo de la erosión de suelos. Algunos estudios recientes están aplicando la Ecuación Universal de Perdida de Suelo (EUPS) para calcular la erosión laminar y en surcos que se origina en campos agrícolas (INTERCONSULT, 2002).

Las actividades del Programa Socio-Ambiental y Desarrollo Forestal (MARENA-POSAF II), que se han estado llevando a cabo desde 1997, tienen como objetivo promover de manera sostenible el manejo de los recursos naturales, bosques, suelos y agua en distintas regiones del país y mejorar la situación socioeconómica de los productores beneficiarios a través de la producción agroforestal. Para llevar a cabo sus objetivos, el MARENA-POSAF II se ha basado en la aplicación de técnicas de conservación de suelos y aplicación de sistemas productivos agroforestales y silvopastoriles a nivel de cuenca, priorizando algunas de mayor importancia a nivel nacional.

Este trabajo forma parte del componente de evaluación de erosión de la Consultoría Valoración Económica de Servicio Ambiental del POSAF que la Universidad Nacional Agraria realizó a MARENA – POSAF II. La finalidad de este trabajo de es obtener información de tasas de erosión hídrica a nivel de sistema productivo y de la Quebrada del Río El Cairo, microcuenca III de la subcuenca Sur del Lago de Managua.

## OBJETIVOS

### Objetivo general

Evaluar la erosión hídrica en el sistema productivo de café (*Coffea arabica* L.) en la Finca El Jardín y el efecto del uso y manejo de la tierra en la Quebrada del Río El Cairo, microcuenca III, de la subcuenca Sur del Lago de Managua en el período de julio a octubre de 2005.

### Objetivos específicos

- Evaluar el efecto de prácticas agroconservacionistas sobre la erosión en dos estadios de crecimiento vegetativo del café establecido en la Finca El Jardín.
- Evaluar el efecto de práctica agroconservacionista sobre la escorrentía superficial en dos estadios de crecimiento vegetativo del café establecido en la Finca El Jardín.
- Evaluar el efecto de práctica agroconservacionista sobre la concentración de sedimentos en dos estadios de crecimiento vegetativo del café establecido en la Finca El Jardín.
- Determinar los valores de los parámetros de la EUPS (R, K, C y LS) de la Quebrada del Río El Cairo.
- Generar mapas de los factores R, K, LS y C de la Quebrada del Río El Cairo.
- Determinar el riesgo de erosión hídrica actual y potencial usando el modelo EUPS en la Quebrada del Río El Cairo, microcuenca III, subcuenca Sur del Lago de Managua.

## II. REVISION DE LITERATURA

### 2.1. Cuencas hidrográficas

#### 2.1.1 Definición de cuenca hidrográfica

Espacio limitado por las partes más altas de una región como montañas, laderas y colinas, en el que se desarrolla un sistema de drenaje superficial que concentra sus aguas en un río principal, el cual se integra al mar, lago u otros ríos más grandes, (Faustino, 1996).

#### 2.1.2 Importancia de la cuenca hidrográfica

Cuenca es el espacio natural donde los procesos de erosión hídrica actúan de forma natural y donde el hombre o las comunidades interactúan con ellos, generándose distintos tipos de conflictos por el uso de los recursos naturales. Por lo tanto consideramos la cuenca como el lugar ideal para articular planes de ordenamiento y manejo de los recursos naturales en función de obtener una producción sostenida de alimentos y de la vida como tal. (Faustino, 1996).

#### 2.1.3 División espacial de una cuenca hidrográfica

- **Subcuenca:** Se define como una subdivisión de la cuenca, que conforman los afluentes del río principal y que constituyen la red hidrológica. Se refiere a los ríos secundarios tributarios al de mayor tamaño dentro de una cuenca (Faustino, 1996).
- **Microcuenca:** Es la expresión más pequeña de la red hidrológica y constituyen áreas donde se originan las quebradas y riachuelos individuales que drenan de las laderas y pendientes altas del paisaje geomorfológico y constituye la unidad adecuada para la planificación (Faustino, 1996).

- **Quebrada:** esta palabra describe, en varios países de Latinoamérica como Colombia y Bolivia, a un arroyo, un río pequeño o riachuelo, de poco caudal si se compara con un río, y no apto para la navegación o la pesca significativa; en las quebradas por lo común sólo habitan especies de peces sumamente pequeños; Generalmente las quebradas tienen poca y casi nula profundidad, muy poco caudal, y sirven como bañaderos y lugares campestres para camping, y se pueden vadear y cruzar caminando. Suelen ser muy apetecidas para días de vacaciones y hacer turismo ecológico. (Wales y Sanger, 2001.)

Tabla 1. Criterios utilizados para la clasificación de cuencas.

UNIDAD	No. de Orden de Corriente	Area (km <sup>2</sup> )
Microcuenca	1, 2, 3	10 - 100
Subcuenca	4, 5	100 - 700
Cuenca	6, 7 ó Más	700 - 6000

Fuente: Faustino, 1996

#### 2.1.4 Zonas y partes de una cuenca hidrográfica

Según Somarriba (2004), las partes constitutivas de una cuenca, de acuerdo con sus funciones hidrológicas son las siguientes:

**Parte alta o zona de recarga:** Es la zona de recarga de agua que se extiende desde el nacimiento de los manantiales hasta el punto más alto de la montaña o cerros. En esos cerros se encuentra el filo o cresta que parte el agua de lluvia a escurrir de una y otra cuenca o línea divisoria entre cuencas (esto es llamado parte agua). Es la parte más importante para la producción de agua, siempre que exista una buena o abundante vegetación, que ayude a aumentar la capacidad de almacenar agua.

**Parte media o zona de laderas:** Se extiende desde las vertientes, hasta los lugares donde se toma agua o el inicio del valle. Esta zona es la que se llaman laderas o faldas

de los cerros y donde, pastorean al ganado y se hace agricultura de alto riesgo por lo vulnerable de los suelos a ser erosionados.

**Zona de riberas o ribereña:** Se localiza en la zona de amortiguamiento, pero únicamente comprende el área de ambos lados de las quebradas o riachuelos. Son áreas que se tienen que proteger con vegetación, porque de lo contrario secan las corrientes de agua o se secan los manantiales.

**Zona baja tierra plana (valle):** Es el lugar en donde se localizan asentamientos humanos o comunidades y diferentes obras físicas de comunicación y conducción de agua, incluyendo una agricultura o ganadería de mayor intensidad de uso. Si las tierras altas son mal manejadas, frecuentemente se pueden encontrar problemas de drenaje, inundaciones o saturación de agua, por tanto, requiere de manejos apropiados.

## **2.2 Erosión de suelos**

Cantidad de suelo retirado por la acción dispersante de las gotas de lluvia o por el viento, que tiene como objetivo conformar la superficie terrestre; y este proceso ha existido desde que la tierra fue formada (Kirkby y Morgan, 1984).

### **2.2.1 Procesos de erosión**

La erosión del suelo es un proceso que consta de dos fases, independientemente del agente que lo efectúa (agua y/o viento): el desprendimiento de las partículas individuales de la masa del suelo y su transporte por agentes erosivos (agua de escurrimiento y/o el viento). Cuando la magnitud de la energía no es suficiente para transportar las partículas ocurre una tercera fase llamada depositación (Kirkby y Morgan, 1984).

## **2.2.2 Formas de erosión**

La erosión hídrica, tal vez, es la forma más importante de erosión. Es el resultado de la energía producida por el agua al precipitarse sobre la tierra y al fluir sobre la superficie de los terrenos en forma de escurrimiento superficial. Si no hubiera escurrimiento superficial no habría erosión en zonas de baja precipitación. Existen cuatro formas principales de erosión hídrica:

1. Erosión por salpicadura: Es el desprendimiento y dispersión de las partículas del suelo por las gotas de lluvia (Kirkby & Morgan, 1984).
2. Erosión laminar: Es la remoción más o menos uniforme de una capa o lámina delgada de suelo de una superficie determinada de un terreno (FAO, 1967).
3. Erosión en surco: Es el desprendimiento y transporte de las partículas de suelo ocasionada por el flujo de agua con sedimentos en las depresiones de la tierra con dirección de la pendiente (FAO, 1967).
4. Erosión en cárcavas: Es un incremento en las dimensiones del surco con el movimiento de las corrientes que arrastran los lechos de los surcos y desmoronan sus paredes o taludes. Las cárcavas dividen el terreno haciendo imposible su utilización para la agricultura (FAO, 1967).

## **2.2.3 Método para medir erosión de suelo**

### **2.2.3.1 Parcelas de escorrentía o parcelas de erosión**

Es un área de tamaño variable ubicada en laderas limitadas por paredes metálicas o de cualquier otro material, las cuales se aíslan completamente, evitando que le llegue escorrentía de otros predios y se utilizan para cuantificar pérdida de suelo por erosión hídrica de un área determinada (Wischmeier y Smith, 1978).

Área de 3 m de ancho y 20 m a lo largo de la pendiente, aislada por una lámina de metal enterrada a 20 cm en el suelo, ubicada en la parte alta de la pendiente y en los lados paralelos a favor de la pendiente. La parte baja de la pendiente está delimitada por un canal de colección de sedimentos y escorrentía y con un tubo de conducción que conecta el canal con el sistema de almacenamiento de sedimentos y escorrentía.

## **2.2.4 Método para estimar la erosión**

### **2.2.4.1 Ecuación Universal de Pérdida de Suelo (EUPS)**

Modelo que ha sido ampliamente usado en planificación conservacionista de suelo. Es una herramienta muy útil para la evaluación de la severidad del riesgo de erosión laminar, en surco y determinación de las partículas de control de erosión necesarias para sostener pérdidas de erosión anuales promedios dentro de un nivel aceptable de erosión. Fue diseñada para áreas agrícolas y de construcción, pero puede ser adaptada a otras condiciones (Wischmeier y Smith; 1978).

La EUPS, calcula la pérdida de suelo anual promedio en función de las características de la lluvia, propiedades del suelo, rasgos topográficos, el uso de la tierra y prácticas de manejo. La ecuación es:

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

Donde:

**A:** Es la cantidad de material erodado calculado o medido.

**R:** Es el factor de lluvia, expresado en unidades de la fuerzas erosivas de la lluvia y escurrimiento asociado y corresponde a un período de un año.

**K:** Es el factor de erodabilidad del suelo, es una medida de la susceptibilidad inherente de la partículas del suelo a la erosión.

**LS:** Es el factor combinado de longitud y gradiente de pendiente.

**C:** Es el factor combinado de vegetación y manejo.

**P:** Es el factor de implementación de prácticas de conservación de suelos como: cultivo en contorno, barreras vivas, acequias de laderas, cultivo en bandas y terrazas.

El producto de los primeros cuatro factores (R, K, L y S) es el potencial erosivo inherente en el sitio; eso es, la pérdida de suelo que ocurriría en ausencia de cualquier cobertura vegetal (C) o práctica de manejo (P). Los dos últimos factores reducen esta pérdida potencial para compensar los efectos de uso de la tierra, manejo y prácticas especiales.

#### 2.2.4.2. Unidades

Tabla 2. Unidades de medida de los factores de la EUPS

Factor	Sistema Americano	Sistema Métrico	Sistema Internacional
A	ton cortas/acre año	kg /m <sup>2</sup> año ton métricas/ha año	ton métricas/ha año
R	pies-ton pulg/acre h año	Joules mm/m <sup>2</sup> h año kg-m mm/m <sup>2</sup> h año ton-m mm/ha h año	MJ mm / ha h año
K	ton cortas año/acre R	kg /m <sup>2</sup> R	ton métricas año/ha R
LS	Sin unidades		
C			
P			

Fuente :(Wischmeier y Smith1978).

### **2.2.4.3 Ventajas y limitaciones de la EUPS**

Ventajas:

- Facilidad de uso, simplicidad y una base de datos amplia sobre el cual fue desarrollada.
- Diseñada para áreas agrícolas y de construcción, pero puede ser adaptados a otras condiciones.
- Sirve como guía en la selección de sistemas de cultivos y manejo, y de prácticas de conservación de suelos (FAO, 1994).

Limitaciones:

- Los métodos para estimar los seis factores no se encuentran disponibles en muchos lugares.
- Su aplicación en praderas es limitada.
- Está basada sobre el supuesto de pendiente de terreno, suelo, cultivo y manejo uniforme.
- Es un procedimiento estadístico (empírico o agrupado) que no contempla los procesos físicos de separación, transporte y sedimentación en forma mecánica.
- Los resultados son estimaciones sujetas a usuales errores experimentales y de extrapolación (FAO, 1994).

### **2.2.4.4. Ecuación Universal Revisada de Pérdidas de Suelo (RUSLE)**

Según la FAO (1994), la metodología RUSLE (por sus siglas en ingles) fue desarrollada para superar algunas de las limitaciones de la EUPS. Sus avances incluyen:

- Computarización de algoritmos para facilitar los cálculos.
- Nuevos valores de erosividad de lluvias – escurrimientos, basados en más de 1,200 localidades.
- Métodos alternativos de estimacion de K cuando el nomograma no es aplicable.

- Nuevo método para calcular el factor C, utilizando subfactores que incluyen uso previo de la tierra, cubierta vegetal del suelo (fragmentos de rocas) y rugosidad del terreno.
- La capacidad de ajustar el LS para pendientes de forma variables.

### 2.2.5 Tolerancia de pérdida de suelo (T)

Es la tasa máxima de erosión de suelo que permite que se sostenga a un alto nivel de productividad (Kirby & Morgan, 1984). Según FAO (1980), las clases de erosión se clasifican en cuatro categorías, como se presenta en la Tabla 3.

Tabla 3. Clases de degradación por erosión hídrica

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

Fuente: FAO, 1980.

### 2.2.6 Riesgo de erosión actual y erosión potencial

Se define como riesgo de erosión actual, a la pérdida de suelo posible con presencia de la cobertura vegetal actual, sin prácticas de conservación de suelos.

Se define erosión potencial, como la susceptibilidad a la erosión, es la erosión que se prevé va a tener lugar en el futuro en una determinada zona. En este caso interesa la medida de lo que “puede ocurrir o va a ocurrir”, no de lo que existe. La medida de lo que va a ocurrir hay que hacerlo a través de factores o elementos del medio que se conocen y cuyos datos pueden ayudar a predecir el fenómeno. Esta es la diferencia fundamental con la anterior definición, normalmente el estudio de la erosión se hace a través del máximo de variables que van a condicionar el proceso erosivo. La erosión potencial

máxima considera solo la interacción de los factores de la tierra: suelo, clima y topografía (Páez, 1994).

### **2.3 Sistema de Información Geográfica (SIG)**

Según Mendoza (2000), se define como Sistema de Información Geográfica (SIG), a un sistema de información que ofrece cuatro tipos de posibilidades para manejar datos georeferenciados: Entrada de datos, manejo de datos (almacenamiento y búsqueda), Manipulación, análisis y salida de datos.

SIG, es un conjunto de programas utilizados como herramienta en la recopilación, almacenamiento, búsqueda, transformación y para desplegar información espacial de una región, permitiendo el análisis y manejo rápido de esta información. Los SIG han demostrado ser herramientas útiles en el procesamiento y manipulación de información georeferenciada, según los objetivos del estudio.

### **2.4 Importancia del café (*Coffea arabica* L.)**

El café es originario del sotobosque de altura de Etiopía, ha mantenido características de adaptación a la sombra. En Nicaragua ha sido el rubro de mayor exportación, que tiene un peso muy significativo en el Producto Interno Bruto (PIB) del país con un 25%. Países de América Central en su conjunto exportan el 11% del café mundial (CATIE, 2000).

#### **2.4.1 Beneficios ecológicos asociados a las plantaciones de café**

Según CATIE (2000), los beneficios ecológicos asociados a las plantaciones de café son:

- Protección del suelo contra la erosión y por ende menos lavado de fertilizantes hacia las fuentes de agua.

- Menores cantidades de agroquímicos a aplicar.
- Crea un microclima en la zona donde se cultiva.
- Producción de materia orgánica.
- Aumento de la biodiversidad.
- Captura de dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>).
- Conservación de suelo y agua.

## **2.4.2 Ventajas ambientales del cultivo del café**

### **2.4.2.1 Protección contra la erosión**

El cafetal tiene un impacto importante sobre la erosión hídrica, manteniendo los suelos, favoreciendo la infiltración de las aguas de lluvia. Sin embargo, esto solo es cierto si se dan al menos dos condiciones: se hacen obras especiales contra la erosión especialmente en terrenos con pendiente (entre otro cultivo en contorno) y se "limpia totalmente el cafetal de maleza" ya sea mediante el uso de herbicidas o con pala. En otras palabras el cafetal más sostenible, es aquel que tenga una leguminosa en el suelo. Al igual que los bosques, la protección que brinda la sombra de los cafetales limita también el calentamiento de la tierra, el intercambio de calor entre suelo y aire, en consecuencia el desplazamiento de los vientos hacia la superficie, disminuyendo así la erosión eólica (erosión causada por el viento) de la zona (CATIE, 2000)

### **2.4.2.2 Efectos sobre los suelos**

Los cafetales favorecen la conservación de los suelos, por el aporte continuo de materia orgánica (hojas, material leñoso) y la preservación de un medio favorable a insectos, hongos, mohos y microorganismos, que ayudan a la descomposición de esta materia orgánica y su integración como nutrientes de la tierra. (CATIE, 2000)

### III. MATERIALES Y METODOS

#### 3.1. Descripción del área de estudio

El presente estudio se desarrolló en la Finca El Jardín ubicada en el municipio de El Crucero que se encuentra ubicado en la microcuenca III de la subcuenca Sur del Lago de Managua (figura 1). La Quebrada del Río El Cairo pertenece a la microcuenca III, es relativamente pequeña con un área de 489.33 ha, su afluente principal es el Río El Cairo, el cual nace de corrientes efímeras de la parte alta de la microcuenca hasta desembocar en el Río El Brujo que suministra agua a los sectores aledaños de Ticuantepe y Managua.

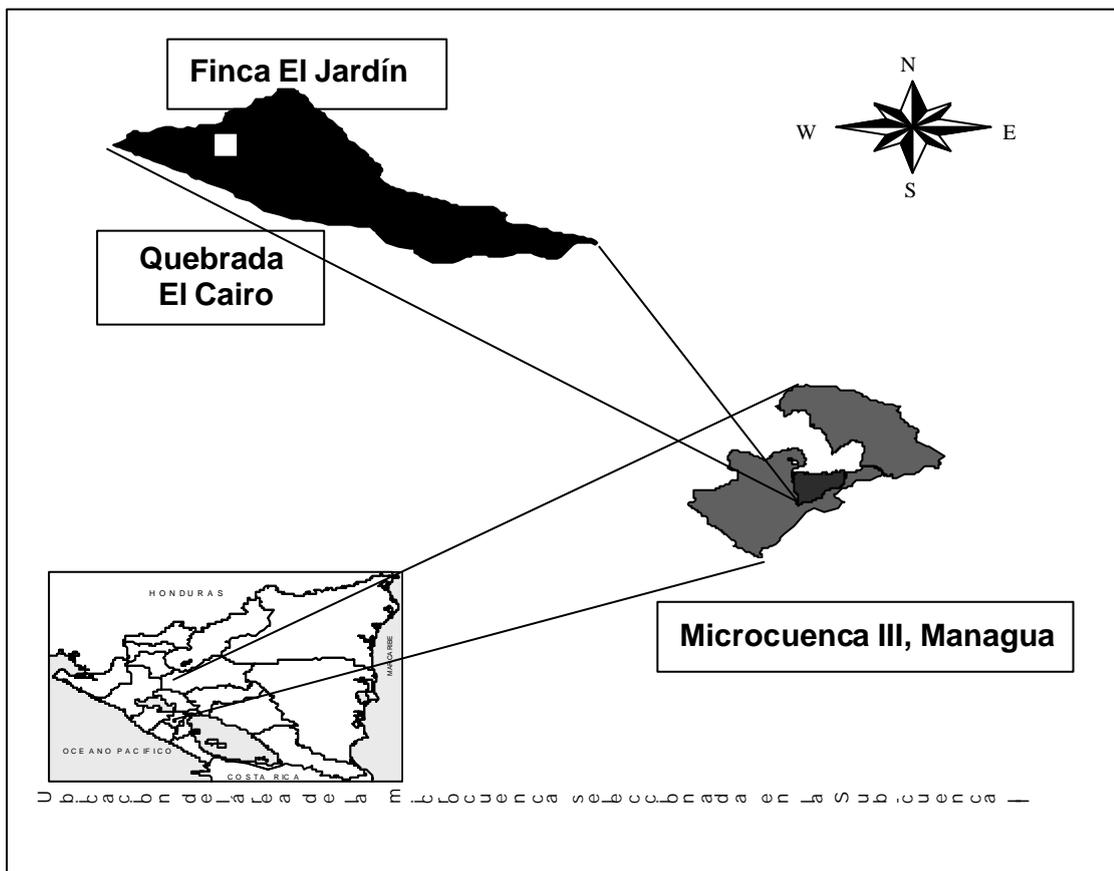


Figura 1. Ubicación de la Finca El Jardín, localizada en la Quebrada del Río El Cairo, microcuenca III, subcuenca Sur del Lago de Managua.

Fuente: Gonzáles y Pozo; 2007

## **3.2. Características biofísicas**

### **3.2.1. Fisiografía**

En la Quebrada del Río El Cairo se encuentra un sistema de laderas y cañadas altas y bajas. Su punto más alto es la Meseta de El Crucero con 960 msnm. La vegetación en esta zona es afectada por los gases del Volcán Santiago. Las pendientes varían de 15 a 70% (INTERCONSULT, 2002).

### **3.2.2. Geología**

Compuesta principalmente de rocas y sedimentos volcánicos: lavas, depósitos piroclásticos, cenizas, lapillis, pómez, talpetates y sedimentos aluviales (INTERCONSULT, 2002).

### **3.2.3. Clima**

De acuerdo a la clasificación de Köpen, el clima es Tropical de Sabana. La temperatura de Managua, en términos muy generales, varía de acuerdo con la altitud. La capital presenta una temperatura promedio de 27°C, mientras que en Casa Colorada – El Crucero oscila 21° a 24°C. La precipitación promedio anual es de entre 1400 – 1500 mm (INTERCONSULT, 2002).

### **3.2.4. Suelos**

Se encuentran tres series de suelo: San Marcos (MC), Pacaya (PY) y San Ignacio (SI). Estos suelos son desarrollados a partir de cenizas volcánicas, tienen una secuencia de horizontes clara, son suelos muy profundos de textura franco arcillosa con muy buena infiltración. Son suelos fuertemente ácidos (pH 4.7), cuando son afectados por los gases del Volcán Masaya (INTERCONSULT, 2002).

### **3.2.5. Hidrología**

Presenta un patrón de drenaje paralelo y sub-paralelo de textura fina. Forma parte del extenso abanico fluvial de las Sierras de Managua, que se levanta hacia el sur hasta Casa Colorada y Las Nubes. La escorrentía ha dejado cauces donde corren corrientes efímeras durante o después de las copiosas lluvias que se dan en la microcuenca (INTERCONSULT, 2002).

### **3.2.6. Uso actual de la tierra**

El 95% de la cobertura vegetal la componen vegetación boscosa que constituye la sombra del cultivo del café; un 3% de cobertura vegetal herbácea y arbustiva compuestas por pastos naturales, malezas en un 1% y las áreas humanizadas en su conjunto representa un 1% con edificaciones de casas (INTERCONSULT, 2002).

### **3.3. Proceso metodológico**

Las metodologías empleadas para la evaluación del proceso de erosión fueron de medición y estimación. El estudio del proceso de erosión presenta dos escalas espaciales:

1. La medición de pérdidas de suelo y escorrentía superficial en el sistema productivo de café a través de parcelas de erosión en la finca El Jardín.
2. La estimación de pérdida de suelo en el ámbito de la microcuenca III a través de un modelo empírico (EUPS).

El estudio se realizó en tres etapas: precampo, campo y post – campo.

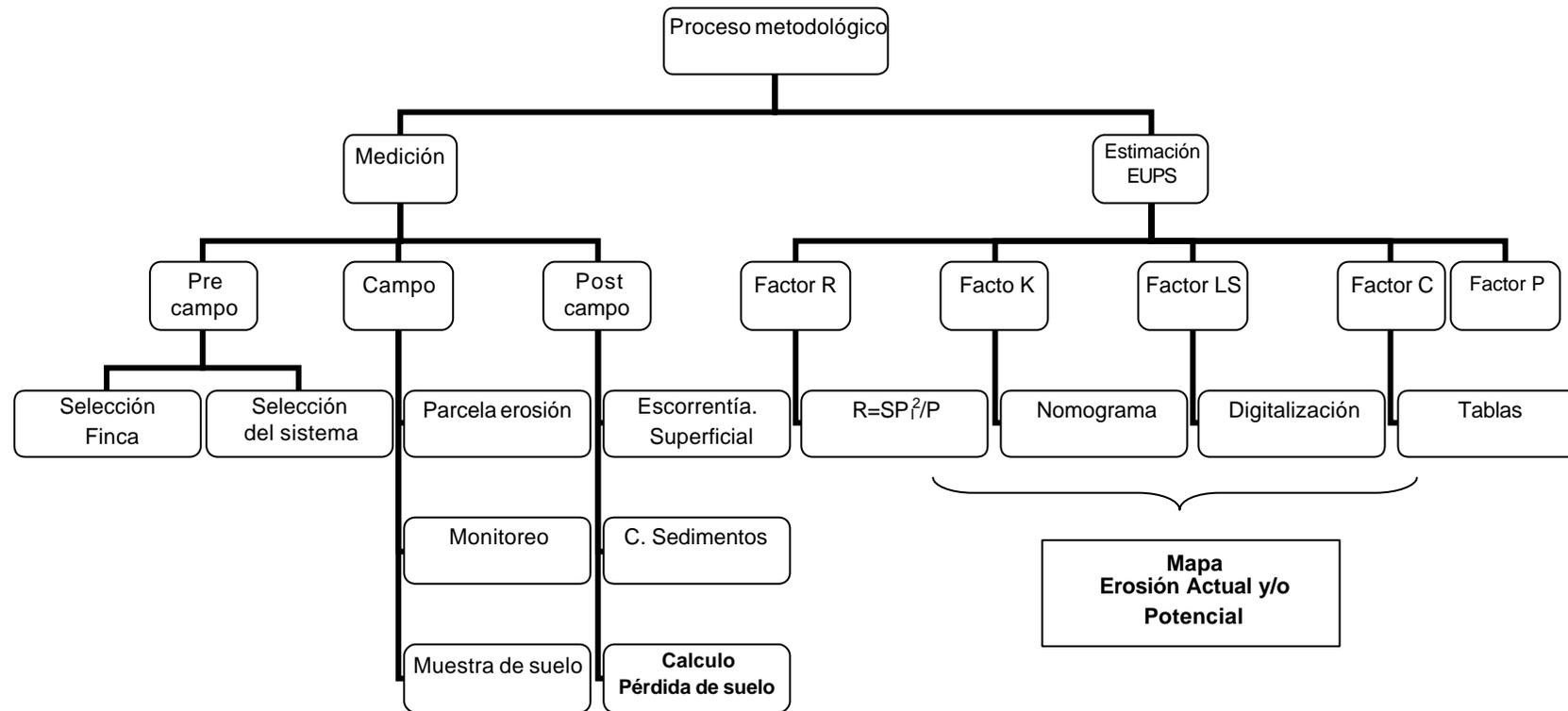


Figura 2. Esquema metodológico de las etapas de la elaboración del estudio.

Fuente: Gonzáles y Pozo; 2005

### **3.4. Etapa de precampo**

Los principales criterios de selección de la finca fueron: la ubicación del sistema productivo en áreas de intervención del MARENA- POSAFII, tiempo mínimo de 3 años de ser beneficiario del programa, grado de erosión en el sistema productivo, la accesibilidad en todo tiempo y la seguridad de instalación de equipo de campo.

Para la selección del sistema productivo, se consideraron los siguientes criterios: representativo de la zona, sistema con intervención del programa MARENA – POSAF II y con pendiente uniforme.

### **3.5. Etapa de campo**

#### **3.5.1. Establecimiento de la parcela de erosión**

La parcela de erosión esta compuesta por: bordos de láminas de metal, canal de intercepción, tubo de conducción y sistema de almacenamiento (2 barriles).

La parcela experimental de erosión consiste en un área de escorrentía de forma rectangular con 3 m de ancho y de 20 m de largo en dirección de la pendiente principal. Esta área se encuentra aislada en la parte superior y lateral por láminas de zinc liso de 40 cm. de ancho, las cuales son enterradas a 20 cm. en el suelo. Las láminas son traslapadas, ubicando siempre la banda pendiente arriba hacia dentro de la parcela . La parte baja de la pendiente está delimitada por un canal de colección de sedimentos y escorrentía del área de la parcela. Este canal consiste en una pared frontal enterrada a 50 cm. bajo tierra; en la superficie se tiene una sección de aproximación de 10 cm. que esta a ras de la superficie del suelo del área de la parcela. El canal a lo interno tiene pendiente de los extremos hacia el centro de 15% para promover el desplazamiento de la escorrentía y sedimentos en el canal hacia una salida colocada en el centro del canal

pendiente abajo que conecta el canal con el sistema de almacenamiento de sedimentos y escorrentía.

El sistema de almacenamiento consiste de dos barriles de 55 galones cada uno, que deben estar nivelados; el primero tiene un sistema de drenaje en la parte superior de 3 salidas con tubos de PVC a la misma altura. Uno de esos tubos está conectado al segundo barril. Eso significa que este recibe una alícuota proveniente de toda la escorrentía del primer barril.

Los Monitoreo de erosión consistieron en realizar una visita semanal a la parcela durante el periodo de lluvias. Primero, se anotó la altura de la escorrentía en cada barril, para determinar el volumen de escurrimiento, luego se agitó enérgicamente la escorrentía con sedimentos en cada barril manualmente con una paleta o una estaca de 1 metro hasta alcanzar una consistencia homogénea de la mezcla. Posteriormente se obtuvo una muestra de un (1) litro de agua con sedimentos para su análisis en el laboratorio.

Se elaboro una ficha de muestreo del sistema productivo con la descripción siguiente: nombre del sitio, productor y finca, sistema productivos. Se debía anotar la fecha muestreo y altura de escorrentía por barril.

### **3.5.2. Descripción de los tratamientos del sistema productivo**

**Plantación nueva de café (PNC):** Este tratamiento consiste en una plantación nueva de café. Al momento de la instalación de la parcela de escorrentía se encontraba en descanso, encontrándose material vegetativo vivo muy denso que recubría toda la superficie del suelo. En el mes de julio se procedió a limpiar el área de barbecho, con una limpieza total a ras del suelo dejando el rastrojo en el suelo como una cobertura muerta. Se utilizó plantas de la variedad de café Catimur rojo con una distancia de siembra de 1.5 vara entre planta y de 2 varas entre calle para una densidad poblacional

de 1300 plantas en un área de una manzana. En esta área existe poca protección de árboles para sombra. El porcentaje de pendiente es del 15% en el terreno (Anexo 7).

**Plantación en producción de Café con Sombra (PCS):** La variedad de café presente en el área de este tratamiento es Catimur rojo con 5 años de edad, con una altura de planta de 1.5 metros, con densidad de siembra de una vara entre planta por 1.5 varas entre calle con un porcentaje poblacional de 6600 plantas en un área de una manzana. El tipo de sombra con la que cuenta el café es matapalo (*Ficus spp*); también existen plantas como guabillo (*Inga vera*), matazano (*Casimiroa sp*), ojoche (*Brosimum alicastrum*) y el espadillo (*Yuca elephantipes*) como barrera viva. El porcentaje de pendiente es de 24% en el terreno (Anexo 7).

#### Prácticas de manejo:

El manejo que se practica al café es poda baja con machete, manejo de arropo de la maleza, recepo, mantenimiento de barrera viva y muerta; esto se realizó en forma total al cultivo de una sola vez, de forma manual, cuatro veces al año (febrero, mayo, agosto y noviembre). Las prácticas de conservación consisten en obras de barreras vivas, curvas a nivel y cubetas de infiltración. Los rendimientos del cultivo del café en producción son de 20 quintales por manzana.

### **3.6. Etapa de post-campo**

#### **3.6.1. Procesamiento del cálculo de escorrentía superficial**

Con el dato de la altura de la escorrentía de cada uno de los barriles, se procedió a determinar el volumen de escorrentía almacenado, utilizando la siguiente fórmula:

$$V = A \times h / 1000$$

Donde:

**V:** Volumen es el producto del área por la altura dividido entre 1000 para expresar el resultado en litros de escorrentía.

**A:** Área transversal del primer barril igual a 3.1416 (valor de  $\pi$ ) multiplicado por el radio del barril elevado al cuadrado ( $A = \pi r^2$ ).

**h:** Altura de la escorrentía en cada uno de los barriles, monitoreados.

De acuerdo al número de salidas de drenaje, se calculó el volumen de escorrentía del segundo barril utilizando la siguiente fórmula:

$$(V = A \times h) / 1000 \times n$$

Donde:

**V:** Volumen es el producto del área por la altura dividido entre 1000 para expresar resultado en litros de escorrentía.

**A:** Área transversal del *primer barril* igual a 3.1416 (valor de  $\pi$ ) multiplicado por el radio del barril elevado al cuadrado ( $A = \pi r^2$ ).

**h:** Altura de la escorrentía en cada uno de los barriles, monitoreados

**n:** Número de salida del primer barril

El Volumen Total de Escorrentía de la Parcela es igual a la suma del volumen del primer barril más el volumen del segundo barril, se extrapola a una unidad de hectárea, para obtener unidades de metros cúbicos por hectárea ( $m^3/ha$ ).

### **3.6.2. Procesamiento del cálculo de la concentración de sedimentos**

De cada barril se tomaron dos muestras en una botella de un litro. Luego, en el laboratorio se pesó el recipiente en donde se va a almacenar la muestra traída del campo en botella. Este recipiente se pesó previo al depósito de la mezcla de escorrentía, y es de un material resistente al secado al horno. Después de secar por 48 horas a 105 °C, se pesó el recipiente con el contenido de sedimento.

La diferencia del peso de sedimentos más recipiente (Y) menos el peso del recipiente (X) indicó la cantidad de sedimento contenido en la muestra (Z), aplicando la siguiente fórmula :

$$\mathbf{Z = X - Y}$$

Donde :

**Z:** Concentración de sedimentos

**Y:** Peso del sedimento más el recipiente

**X:** Peso del recipiente

En el laboratorio, antes de poner la muestra en el recipiente se midió el volumen de muestra traída del campo. Se utilizó una probeta de 1000 ml. La relación entre sedimentos y volumen de escorrentía de la muestra permitió obtener valores de concentración de sedimentos, los cuales se expresaron en unidades de g/l.

### **3.6.3. Procesamiento del cálculo de la pérdida de suelo**

Para cada momento de muestreo, se obtuvo una cantidad de suelo erosionado. El valor acumulado durante la época de lluvia representa el valor total del período estudiado. La cantidad de suelo erosionado se obtuvo al multiplicar la concentración de sedimentos (CS) por el volumen de escorrentía (VE) de la parcela. La pérdida de suelo del primer barril y segundo barril es igual a:

$$\mathbf{PSB = CSB \times VEB}$$

Posteriormente extrapolado a un área de una hectárea, con una simple regla de tres. Si PSB corresponde al área de la parcela (20 m x 3 m = 60 m<sup>2</sup>), entonces para 10,000 m<sup>2</sup> (1 ha) es la pérdida de suelo. Para fines de comparación se extrapolaron estos datos a unidades de kilogramo o toneladas por hectárea por año.

$$PS = (PSB * 10,000 \text{ m}^2) / 60 \text{ m}^2$$

### 3.7. Metodología para la EUPS aplicando el SIG

#### 3.7.1. Factor erosividad de la lluvia (R)

Para determinar este parámetro se utilizó la ecuación del Índice de Fournier, por existir limitaciones de datos climáticos en el territorio. El valor obtenido de este procedimiento está bajo las unidades del Sistema Americano, por lo que tuvo que multiplicarse el valor por 17.02 para pasarlo al Sistema Internacional. La ecuación del Índice de Fournier es la siguiente:

$$R = ? \text{ pi}^2 / \text{p} * 17.02$$

Donde:

R: Factor de erosividad (pp<sup>2</sup>/pp anual)

P<sub>i</sub>: Precipitaciones promedios mensuales (mm)

P: Precipitación promedio anual (mm)

Para generar el mapa del factor R de la Quebrada del Río El Cairo, se utilizó la información de la estación pluviométrica "La Primavera" por encontrarse más cercana al área de estudio, luego se calculó el factor R y se incorporó este valor en la base de datos del SIG.

### **3.7.2. Factor erodabilidad del suelo (K)**

Para determinar este parámetro se utilizó la información del mapa de suelos (2005) del MARENA - POSAF II, se obtienen los valores de los cuatro parámetros que se utilizan para determinar el factor K (materia orgánica, textura, estructura y permeabilidad) para cada serie de suelo circunscrita en la Quebrada del Río El Cairo. Las series de suelos encontradas corresponden a: San Marcos (MC), Pacaya (PY) y San Ignacio (SI). Para encontrar el valor de K, se usó el nomograma de erodabilidad (Anexo 6). Para generar el mapa del factor K, se incorporaron los valores de K en un SIG.

### **3.7.3. Factor longitud y gradiente de la pendiente (LS)**

Para determinar el parámetro del factor LS se generó un Modelo de Elevación Digital del Terreno (MDE) utilizando el programa Arc View, para ello primeramente se digitalizaron las curvas a nivel de la Quebrada del Río El Cairo, su red de drenaje y se ubicaron los puntos más altos dentro del área. Luego, se combinaron para generar una Red Irregular de Triángulos (TIN) y generar el MDE. Por último, con la extensión de la RUSLE de Arc View se calculó el factor LS. De esta forma, se obtuvo el mapa de LS para la quebrada.

### **3.7.4. Factor cobertura vegetal (C)**

Para determinar el parámetro de cobertura vegetal, primero se efectuó una supervisión de campo para constatar el uso de la tierra que prevalece en la Quebrada del Río El Cairo y verificar la validez de información contenida en el mapa de uso de tierra. A cada uso de la tierra encontrado se le asignó el valor de uso que proporcionan las tablas de referencias para el factor C (Tabla 4). Una vez determinado estos valores, se

integraron en la base de datos del SIG, ubicando el valor de C encontrado en el mapa de uso actual de la tierra de esta forma se generó el mapa de cobertura vegetal para la Quebrada del Río El Cairo.

Tabla 4. Valores referenciales del índice de factor de uso y manejo del suelo (C)

COBERTURA VEGETAL	C
Bosque no intervenido	0,001
Bosque intervenido	0,34
Cultivos extensivos en hileras, ejemplo maíz	0,5
Yuca y batata 1er año	0.2-0.8
Pastos	0,07
Hortalizas	0,3
Arroz de irrigación	0,6
Arroz de secado	0,05
Banana	0,5
Cacao	0,001
Café bajo sombra	0,5
Chile	0,2
Frijol	0,001
Maíz	0,4
Palma de aceite	0,3
Papas	0,002
Pasto permanente -bueno	0,3
Pastos permanente malo	0,4
Piña en contorno - residuos en superficie	0,3
Plantación joven de árboles	0,04
Soya	0,2
Yuca	0,3
Suelo desnudo	0,01

Fuente: Miller and Donahue, 1990; Fletcher, 1996; Morgan1995; CTFT, 1979; SRR, 1996

### 3.7.5. Factor prácticas de conservación de suelos (P)

En la Quebrada del Río El Cairo no se encontró ninguna de las prácticas propuestas por Wischmeier para obtener el valor del factor de prácticas de control de la erosión (P), por tal razón se asumió que el valor de dicho factor es equivalente a uno para toda la quebrada.

### **3.8. Generación de mapas de riesgo de erosión**

Una vez que se generaron los mapas de cada factor estos se multiplicaron usando un calculador de mapa (Arc View), lo que dió como resultado el mapa de riesgo de erosión actual de la quebrada.

Se usaron dos escenarios para predecir el comportamiento de las tasas de erosión en los suelos cuando cambia el factor cobertura vegetal. En este caso, el mapa de riesgo de erosión potencial se generó a partir de cambiar los valores de la cobertura vegetal (factor C).

## IV. RESULTADOS Y DISCUSION

### 4.1. Pérdida de suelo en parcelas de escorrentía

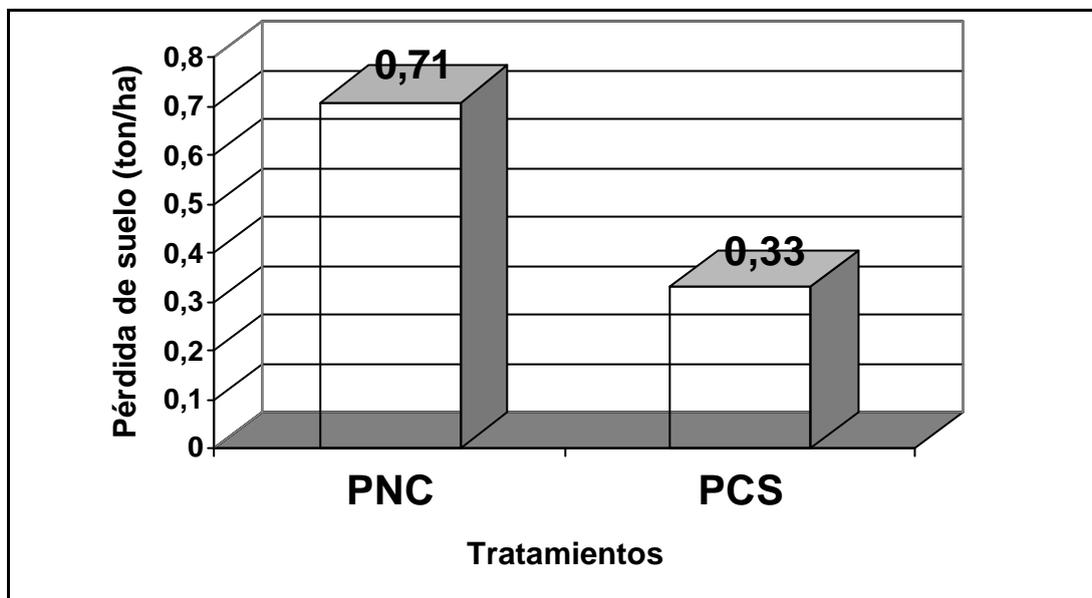
Los resultados de pérdida de suelos se presentan en la figura 3. El tratamiento de Plantación Nueva de Café (PNC) presentó una pérdida de suelo total de 0.71 ton/ha, mientras que el tratamiento de Café con Sombra en Producción (PCS) presentó menor cantidad de suelo perdido (0.33 ton/ha). Los datos mostraron que las pérdidas de suelo en ambos tratamientos fueron menores a 1 ton/ha/año y se encuentran dentro de los rangos permisibles de pérdidas de suelo, que se clasifican como de ninguna a baja, según la tabla de tolerancia de pérdida de suelo de la FAO (Tabla 3).

La causa de esta reducida pérdida de suelo en ambos tratamientos se debió a que la cobertura vegetal proporciona protección al suelo y sirve como amortiguador al momento del evento de lluvia. Valores similares de pérdidas de suelo fueron encontrados por Rivera y Galeano (sin publicar) en la microcuenca Las Mercedes de la subcuenca del Río Jigüina en Jinotega con otros tratamientos en café con canavalia (*Canavalia sp*) con resultados de 0.5 ton/ha de suelo perdido y 3.7 ton/ha en café con barreras vivas de caña de azúcar (*Saccharum officinarum*).

Los resultados obtenidos indicaron un buen efecto de las prácticas agroconservacionistas de suelos en el sistema productivo de café con sombra. Las posibles causas de estos valores fue la efectividad de la cobertura vegetal como protectora del suelo, tanto de plantas vivas (árboles, musáceas, café), como de material muerto de la maleza manejado como arrope. Así mismo, la disposición de los cultivos en contra de la pendiente, o sea, en curvas a nivel que se alternan con los arropes formando pequeñas vallas de retención de sedimentos y promoción de la infiltración en el suelo. Esto definitivamente, contribuyó a alcanzar valores menores de pérdidas de suelos en plantaciones recién sembradas de café y muy similares a las obtenidas en plantaciones ya establecidas y con una cobertura vegetal extra producida

por los árboles de sombra .

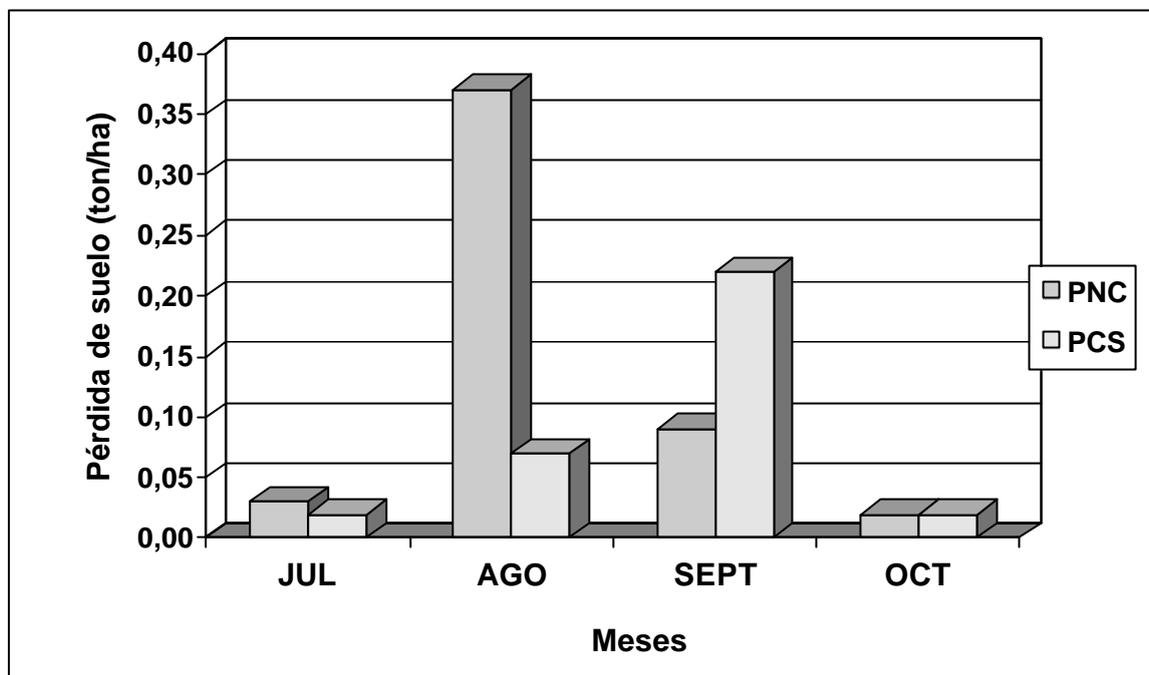
Figura 3. Pérdida de suelo total en el sistema productivo de café, Finca El Jardín, Quebrada del Río El Cairo, microcuenca III, subcuenca Sur del Lago de Managua (julio – octubre de 2005).



Fuente: González y Pozo, 2005.

En la figura 4, se presentan las pérdidas de suelo mensuales, expresada en ton/ha en la época de lluvia durante los meses de julio hasta octubre, se obtuvo la mayor cantidad de suelo erodado en el mes de agosto con 0.37 ton/ha en la PNC y de 0.07 ton/ha para PCS. Este resultado se puede asociar al efecto del trabajo de limpieza que se practicó durante el mes de julio para el establecimiento de café en PNC y al manejo que se le practica al cultivo de café con sombra (PCS) en que la densidad de la cobertura vegetal es reducida.

Figura 4. Distribución de pérdidas de suelo mensual en el sistema productivo de café, Finca El Jardín, Quebrada del Río El Cairo, microcuenca III, subcuenca Sur del Lago de Managua (julio – octubre de 2005).



Fuente: González y Pozo, 2005.

#### 4.2. Volumen de escorrentía

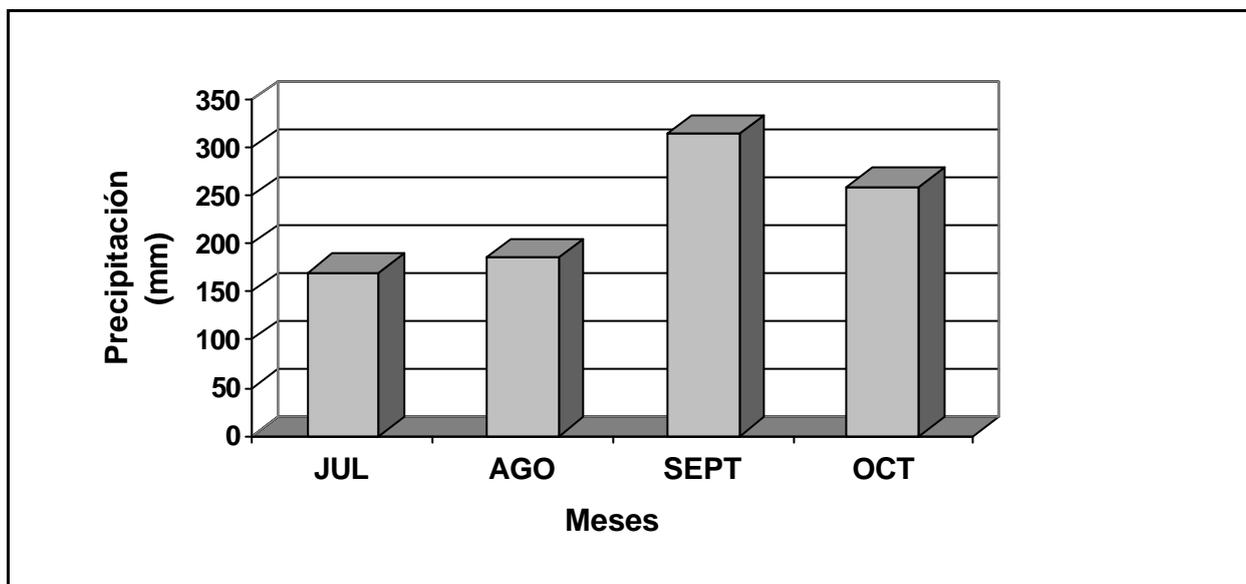
El tratamiento PNC presentó un volumen de escorrentía de 311 m<sup>3</sup>/ha durante el período de monitoreo de cuatro meses equivalentes a la época de lluvia. En cambio, el tratamiento PCS tuvo un volumen de escorrentía de 225 m<sup>3</sup>/ha. La escorrentía fue bastante similar independientemente de los estadios de desarrollo del café.

#### 4.3. Concentración de sedimentos

El tratamiento PNC presentó una concentración de sedimentos 2.19 g/l y el tratamiento PCS de 1.28 g/l. En ambos tratamientos se obtuvieron en promedio menos de 3 g/l, encontrándose muy por debajo de los valores alcanzados con otros usos como cultivos anuales de maíz (*Zea mays*, L) y frijol (*Phaseolus vulgaris*. L).

La figura 5, refleja el comportamiento de las precipitaciones durante los meses de julio a octubre, se observó que en los meses de septiembre y octubre se presentaron mayores incidencias de precipitación durante la evaluación de la erosión del suelo en el sistema productivo de café.

Figura 5. Distribución de precipitaciones mensuales (julio – octubre de 2005), Finca El Jardín, Quebrada del Río El Cairo, microcuenca III, subcuenca Sur del Lago de Managua.



Fuente: González y Pozo, 2005 a partir de INETER, 2005.

#### 4.4. Pérdidas de suelo utilizando el modelo EUPS

##### 4.4.1. Parámetros del modelo EUPS

###### 4.4.1.1. Erosividad de la lluvia (R)

Utilizando la Ecuación del Índice de Fournier y los datos de precipitación promedio mensual de la Estación Pluviométrica La Primavera (cerca al área de estudio), se determinó el factor R que corresponde a 2147.68 MJ mm/ha h. Este valor fue asignado al área de drenaje de la Quebrada del Río El Cairo. En el anexo 5 se presenta el proceso utilizado para calcular el factor R.

#### 4.4.1.2. Factor erodabilidad del suelo (K)

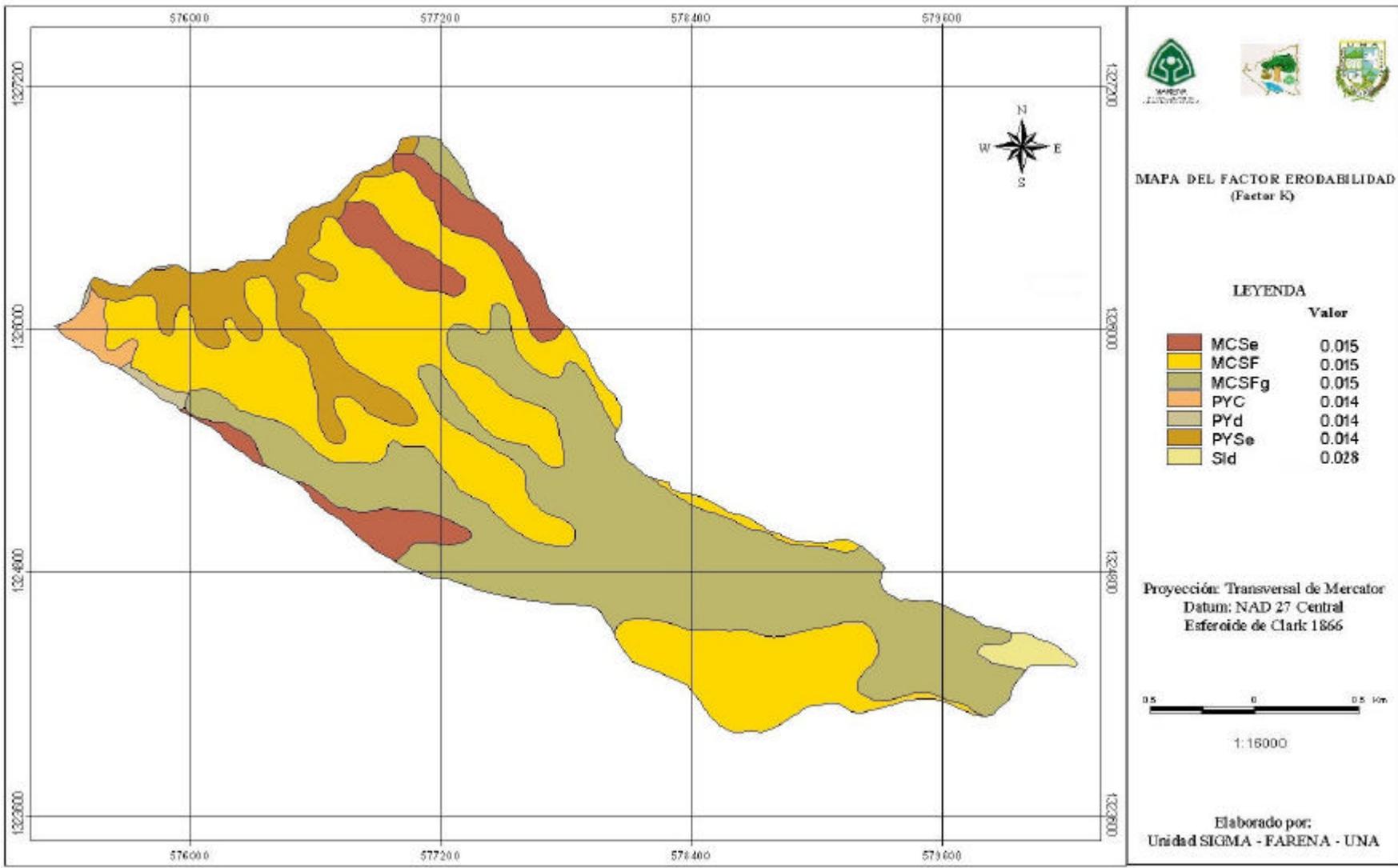
En la Tabla 5, se presentan los valores de las propiedades físicas de cada serie de suelos) y el valor de K determinado a partir de la integración de los datos en el nomograma de erodabilidad.

Tabla 5. Cálculo del factor K por serie de suelo, Quebrada del Río El Cairo, microcuenca III, subcuenca Sur del Lago de Managua, 2005.

Serie de Suelo	Limo + Arena muy finas	Resto de Arenas	Materia Orgánica (%)	Estructura	Permeabilidad	Valor de K (ton/ ha/año/ MJ mm/ Ha h)
San Marcos (MC)	32	54	8.33	Bloques sub-angular	Moderadamente rápida	<b>0.015</b>
Pacaya (PY)	37.5	52.5	8	Granular fina	Moderada	<b>0.014</b>
San Ignacio (SI)	22.5	72.5	2	Bloques sub-angular	Moderada	<b>0.028</b>

Fuente: González y Pozo, 2005

En el mapa del factor erodabilidad (K) de la Quebrada del Río El Cairo se presentan los resultados del factor K, se encontró valores para la serie San Marcos (MC<sub>Se</sub>, MCSF, MCSFg), Pacaya (PYC, PYd, PYSe) y San Ignacio (SI<sub>d</sub>) de 0.015, 0.014 y 0.028 ton/ha/año/ MJ mm/ha h respectivamente (Mapa 1). Estos valores son más bajos a los reportados con el E<sub>l30</sub> y pérdidas de suelo medidos en Ticuantepe que corresponden a 0.034 ton/ha/año/ MJ mm/ha h (Rivas, 1992). La materia orgánica fue muy alta para las dos primeras series de suelo con respecto a la tercera de tan solo 2%.



Mapa 1. Mapa del factor erodabilidad (K), Quebrada del Río El Cairo, microcuenca III, subcuenca Sur del Lago de Managua

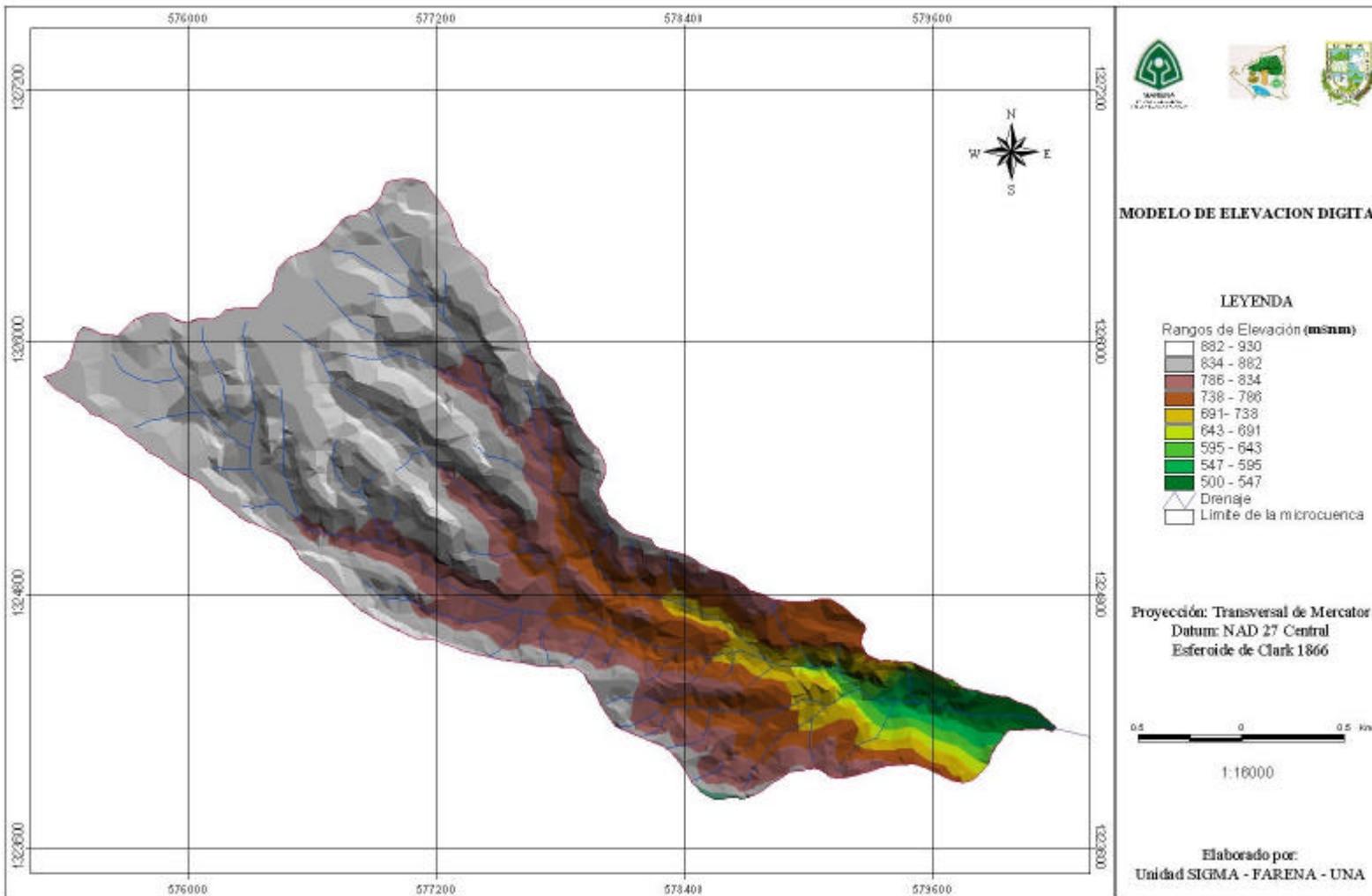
#### 4.4.1.3. Factor longitud y gradiente de la pendiente (LS)

Según el mapa de Elevación Digital del Terreno (Mapa 2), se obtuvieron rangos de elevación para la parte baja de 500 – 643 msnm con un LS entre 30 – 44%, en la parte media de 643 – 834 msnm con un LS de 10-29% y en la parte alta de 834 – 930 msnm con un LS de 0 – 9% (Tabla 6). Una vez que la RUSLE de Arc View calculó el factor LS se obtuvo el mapa del factor LS para la Quebrada del Río El Cairo (Mapa 3).

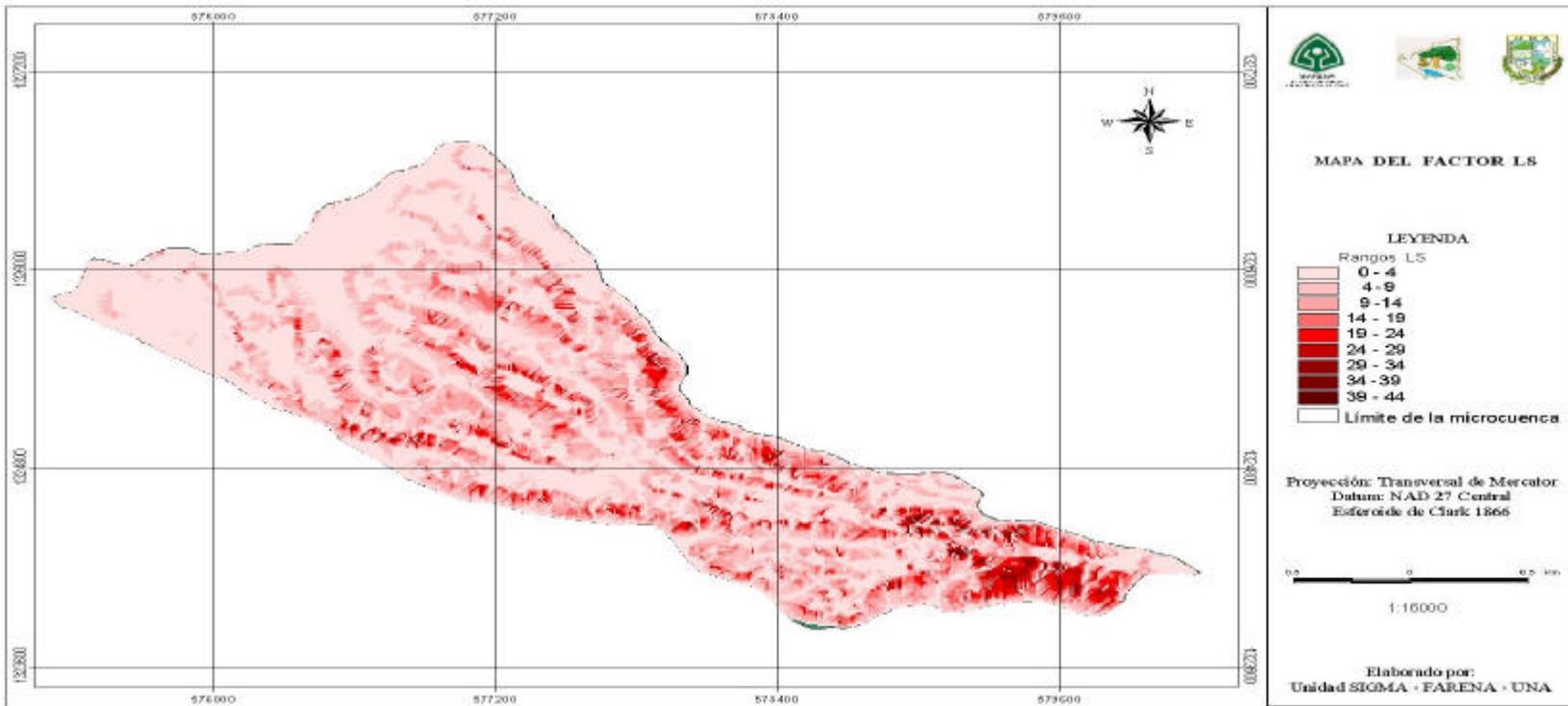
Tabla 6. Resultados del factor LS, Quebrada del Río El Cairo, microcuenca III, subcuenca Sur del Lago de Managua, 2005.

Partes	Elevación (m.s.n.m)	Factor LS
Alta	882 – 930	0 – 4
	834 – 882	5 – 9
Media	786 – 834	10 – 14
	738 – 786	15 – 19
	691 – 738	20 – 24
	643 – 691	25 – 29
Baja	595 – 643	30 – 34
	547 – 595	35 – 39
	500 - 547	40 – 44

Fuente: González y Pozo, 2005.



Mapa 2. Mapa de elevación digital del terreno (MDE), Quebrada del Río El Cairo, microcuenca III, subcuenca Sur del Lago de Managua



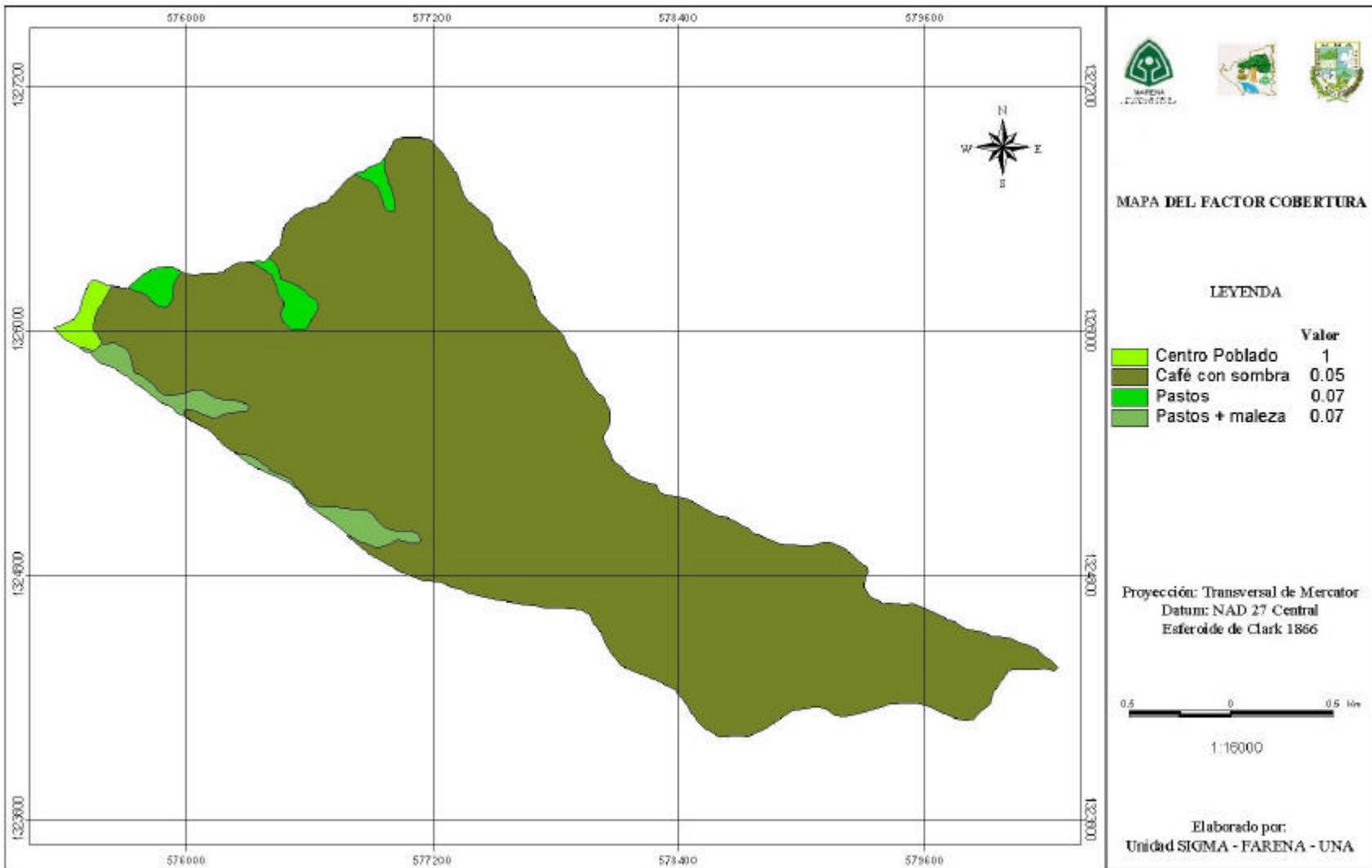
Mapa 3. Mapa del cálculo del factor LS, Quebrada del Río El Cairo, microcuenca III, subcuenca Sur del Lago Managua

#### **4.4.1.4. Factor cobertura vegetal (C)**

De acuerdo al uso de la tierra y al valor que se obtuvo de la tabla 4 (Valores de referencias del índice de uso y manejo del suelo) se encontraron valores de cobertura vegetal de 0.05 para café con sombra, 0.07 para pastos y uno para centro poblado. Estos valores se representaron en el mapa del factor C de la Quebrada del Río El Cairo (Mapa 4)

#### **4.4.1.5. Factor de prácticas de conservación de suelo (P)**

En la Quebrada del Río El Cairo no se encontró ninguna de las prácticas propuestas por Wischmeier para determinar el valor del factor de prácticas de control de la erosión (P), por tal razón el valor de ese factor corresponde a uno .



Mapa 4. Mapa del factor cobertura vegetal (C), Quebrada del Río El Cairo, microcuena III, subcuena Sur del Lago de Managua

#### 4.4.2. Erosión hídrica actual y potencial

Al generar el mapa de erosión con la vegetación actual, se encontraron tres niveles predominantes de erosión que posee la Quebrada del Río El Cairo (Tabla 7).

Los suelos que presentaron pérdidas menores de 10 ton/ha/año de pérdidas de suelo clasificada como ninguna, ocupan solamente el 38.77% del área de la quebrada y el uso predominante es cultivo de café con sombra. Los suelos con pérdidas anuales entre 10 – 50 ton/ha/año, clasificada como moderada, ocupan el 41.04% del área total de la quebrada y son utilizados principalmente con cultivos de café y pastos. El 20.18% del área total de la quebrada pierde entre 50 - 200 ton/ha/año clasificada como alta, el uso dominante es café, pastos y/o malezas y cultivos anuales. (Mapa 5).

Tabla 7. Erosión hídrica actual, Quebrada del Río El Cairo, microcuenca III, subcuenca Sur del Lago de Managua, 2005.

Categoría	Pérdidas desuelo (ton/ha/año)	Área (ha)	Área (%)	Uso de la tierra
Ninguna	>10 ton	189.40	38.77	Café con sombra
Moderada	10 – 50 ton	200.42	41.04	Café y pasto
Alta	50 – 200 ton	98.90	20.18	Café/pasto/maleza/ Cultivos anuales

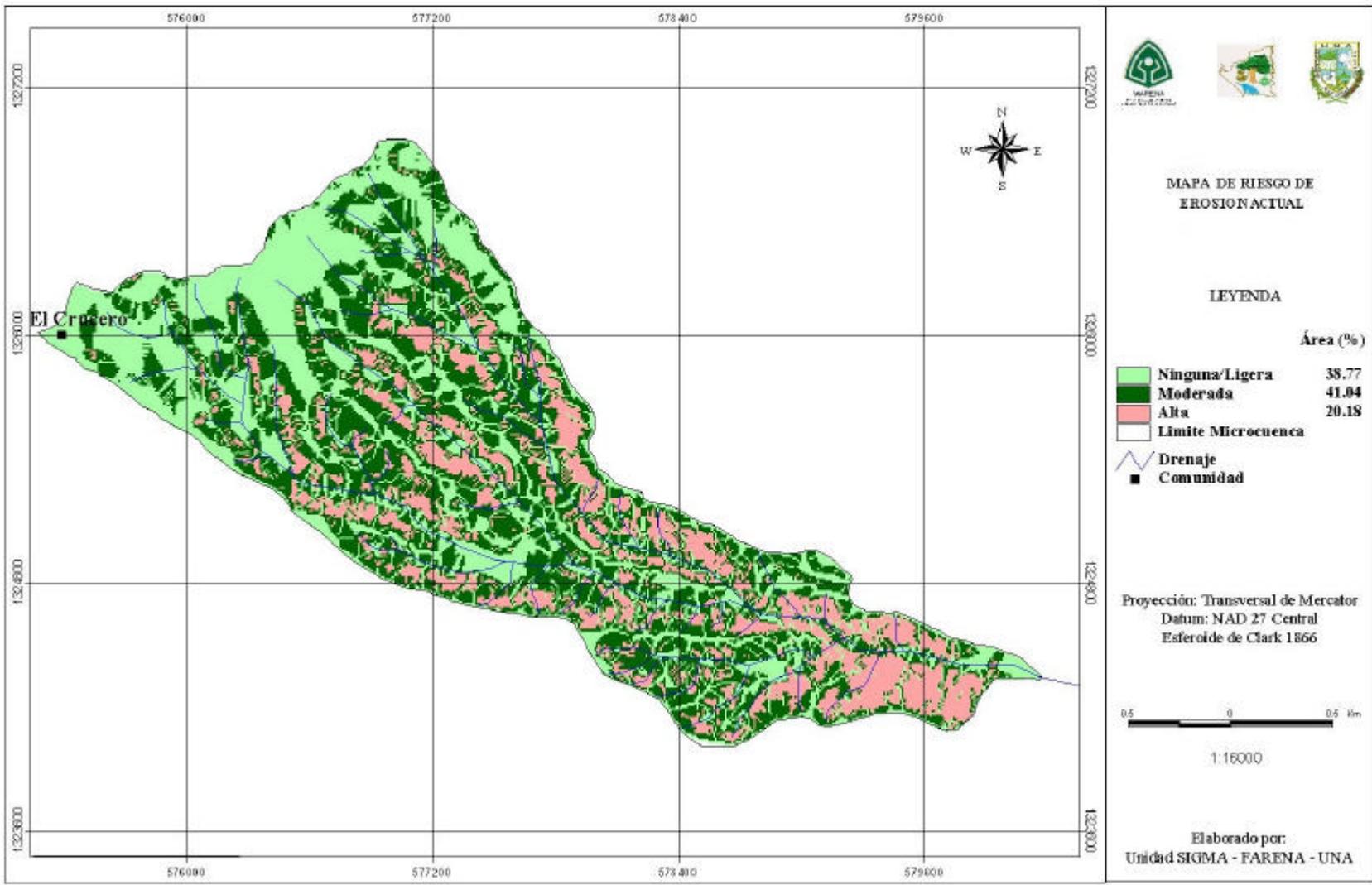
Fuente: González y Pozo, 2005.

Para analizar el efecto del cambio de uso de la tierra sobre el comportamiento de la erosión a nivel de la Quebrada del Río El Cairo, se procedió a establecer como cobertura granos básicos (cultivos anuales) en las áreas previamente utilizadas con café con sombra. Los resultados indicaron que al cambiar el uso de la tierra se generó un escenario pesimista, en donde el nivel de erosión clasificada de muy alta (> 200 ton/ha/año) impacta en casi la mitad de la quebrada en un 49.4%, lo cual disminuyó las áreas con categoría de ninguna, moderada y alta como muestra la tabla 8 (Mapa 6).

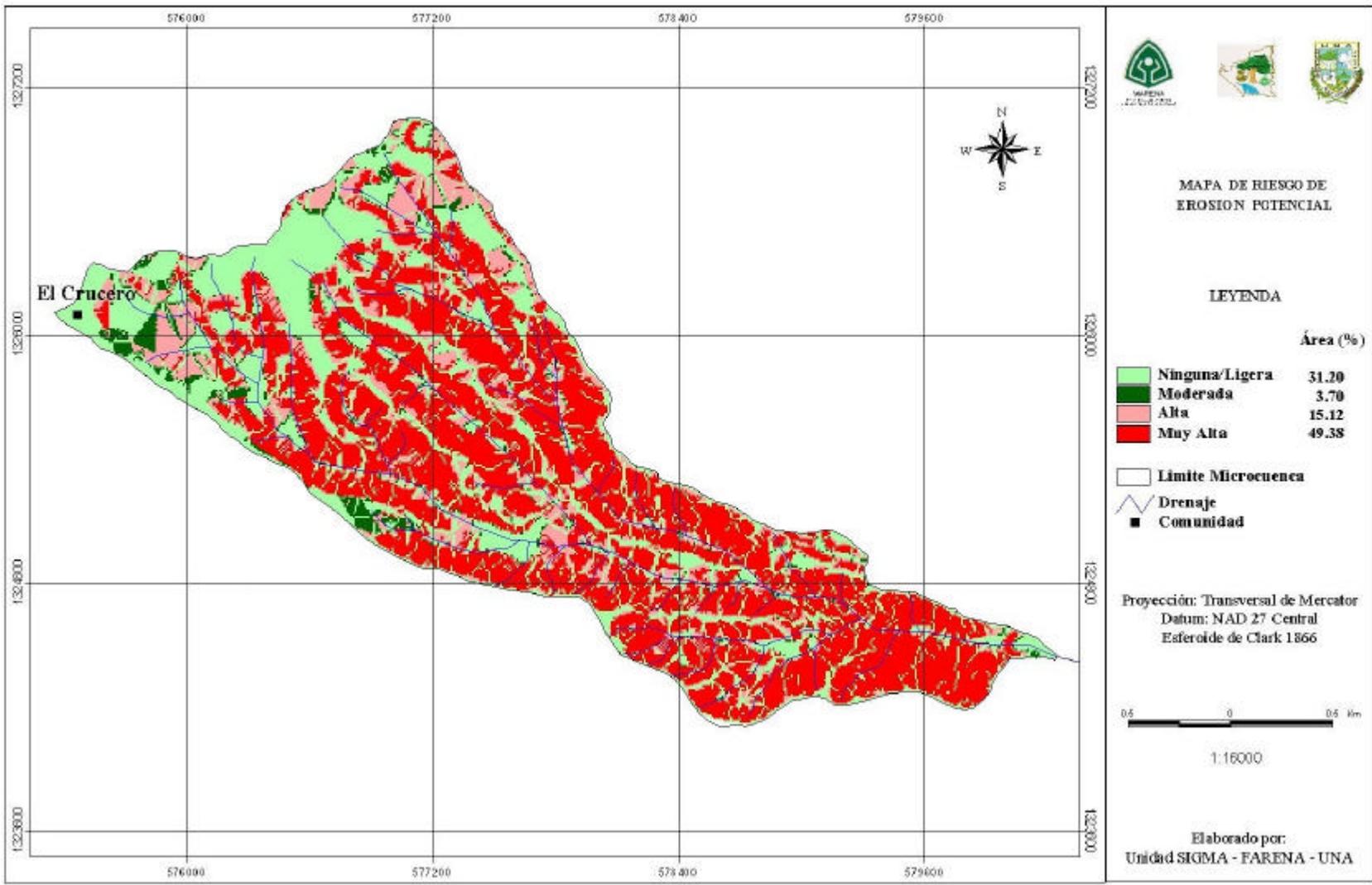
Tabla 8. Erosión hídrica potencial, Quebrada del Río El Cairo, microcuenca III, subcuenca Sur del Lago de Managua ,2005.

Categoría	Pérdidas de suelo (ton/ha/año)	Área (ha)	Área (%)	Uso de la tierra
Ninguna	>10 ton	152	31.20	Cultivos anuales con pendientes menor a 15%
Moderada	10 – 50 ton	18.08	3.70	Pasto/maleza
Alta	50 – 200 ton	73.86	15.12	Cultivos anuales
Muy alta	<200 ton	243.51	49.4	Cultivos anuales

Fuente: González y Pozo, 2005



Mapa 5. Mapa de riesgo de erosión actual, Quebrada del Río El Cairo, microcuenca III, subcuenca Sur del Lago de Managua



Mapa 6. Mapa de riesgo de erosión potencial, Quebrada del Río El Cairo, microcuenca III, subcuenca Sur del Lago de Managua

## V. CONCLUSIONES

- Las pérdidas de suelo medidas en las parcelas de erosión en el sistema productivo de café fueron clasificadas de ligera a ninguna de acuerdo a los valores de tolerancia de la FAO (< 10 ton/ha/año).
- El comportamiento de la escorrentía fue bastante similar independientemente de los estadios de desarrollo del café . Las características hidrodinámicas del suelo con la protección de cobertura muerta y viva se combinaron para aumentar la infiltración y reducir los volúmenes de escorrentía.
- Se produjo una concentración ligeramente alta de sedimentos en el tratamiento PNC con respecto al PCS, lo cual indujo a una mayor pérdida de suelo. Sin embargo, están muy por debajo de los valores alcanzados con otros usos.
- Las prácticas agroconservacionistas implementadas en ambos estadios de crecimiento vegetativo del café son suficientes para mantener pérdidas de suelo en rangos tolerables (<10 ton/ha/año).
- El café bajo sombra representa una excelente cobertura vegetativa , tanto viva (árboles, musáceas, café), como muerta por el manejo de arroyo de la maleza y la disposición de los cultivos en contra de la pendiente y de los callejones de maleza cortadas que funcionan como vayas de retención. Esto definitivamente fue un éxito en plantaciones recién sembradas de café, que generaron valores de pérdidas de suelos bastante similares en plantaciones ya establecidas y en producción.
- La cobertura de café juega un efecto favorable para mantener la baja erodabilidad del suelo (alta infiltración, alto contenido de materia orgánica, buena estabilidad

estructural), sumado a su porcentaje de protección directa sobre el suelo al impacto de lluvia.

- Al cambiar el uso de la tierra de café con sombra a cultivos anuales, el escenario generado indica un aumento importante de las áreas con erosión clasificada como muy alta, lo cual refleja la importancia de la protección que brinda el café en la Quebrada del Río El Cairo, especialmente en zonas de laderas (con pendientes mayores de 14%). Esta se puede generalizar a la parte alta de la subcuenca Sur del Lago de Managua, que representa una faja de seguridad que evitaría desastres naturales mayores (inundaciones, deslizamientos de tierra, etc.) en la parte baja donde se asienta la Ciudad de Managua.
  
- La medición como la estimación de la erosión hídrica que ocurre en el sistema productivo de café en la Quebrada del Río El Cairo, permite un mantenimiento sostenido de la calidad ambiental y productiva del recurso suelo.

## VI. RECOMENDACIONES

- El POSAF y los productores involucrados deben mantener el sistema productivo de café con sombras en plantaciones nuevas con las prácticas adecuadas en la zona de El Crucero, independiente del valor del café en el mercado, ya que proporcionan una excelente protección del suelo, lo que mantiene el nivel de erosión por debajo del valor de tolerancia (<10 ton/ha/año). Esto contribuye a aumentar la infiltración, reduciéndose los volúmenes de escorrentía y reducción de la concentración de sedimentos, lo cual genera agua superficial de mejor calidad hacia las partes bajas de la subcuenca Sur del Lago de Managua.
- Para estudios posteriores, con el fin de comparar los valores estimados de pérdida de suelo con el uso de cultivos anuales o sin cobertura, se recomienda establecer parcelas de erosión en la parte alta de la subcuenca Sur del Lago de Managua y cuantificar esos valores. Esto, brindaría solidez a la propuesta de mantener siempre el cultivo café con sombra en la parte alta de la subcuenca Sur del Lago de Managua.
- Representa un peligro potencial el crecimiento urbano desorganizado hacia la parte alta de la subcuenca Sur del Lago de Managua, lo que pondría en riesgo a la ciudad de Managua debido a que potenciaría mayores desastres naturales (inundaciones, deslizamientos de tierra, etc.). Por lo que se recomienda socializar los resultados de este estudio con las alcaldías municipales localizadas en el territorio de la subcuenca
- Para poder realizar una evaluación más precisa del impacto del uso actual de la tierra sobre la erosión, se recomienda al POSAF efectuar verificación de campo combinada con imágenes generadas por sensores remotos de los usos de la tierra y poder evaluar también en el tiempo si no ha variado dicha cobertura.

## VII. BIBLIOGRAFIA

- CATIE (Centro Agronómico Tropical de Investigación y Enseñanza). 2000. Manejo Integrado de Plagas en el Cultivo del Café. 1ª ED. CATIE . Turrialba, CR. 272 p.
- Catastro. 1971. Levantamiento de Suelos de la Región Pacífica de Nicaragua. Volumen II. Managua, NI. 591 p.
- Faustino, J. 1996. Gestión Ambiental para el Manejo de Cuencas Municipales. Centro Agronómico Tropical de Investigación y Enseñanza (CATIE), Turrialba, CR.137 p.
- FAO (Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación).2002. La erosión del suelo por el agua. Algunas medidas para combatirla en la tierra de cultivos. Roma, Italia P. 174 y 175 total de p. 207.
- \_\_\_\_.1994. Erosión de suelos en América Latina. Santiago, CL.Roma, Italia 219 p
- \_\_\_\_.1980. Metodología provisional para la evaluación de la degradación de los suelos. FAO – PNUMA – UNESCO, Roma, Italia ,86 p,
- \_\_\_\_1967. La erosión del suelo por el agua: Algunas medidas para combatirlas en tierras de cultivos. Colección FAO: Fomento de Tierras y Aguas Nº 7. FAO, Roma. Italia
- Gutiérrez, A. 2004. Simulación de la escorrentía y producción de sedimentos aplicando SWAT en las microcuencas 7 y 13, subcuenca III, cuenca Sur del Lago de Managua, Nicaragua. NI. 132 p.
- INTERCONSULT. 2002. Estudio Agro ecológico y de drenaje pluvial de la Subcuenca III de la Cuenca Sur del Lago de Managua , NI. Informe Final. 55 p.
- Instituto Nacional de Estudios Territoriales (INETER). 2005. Recomendaciones Técnicas para la elaboración de Mapas de Amenazas por Erosión Hídrica. INETER-COSUDE. 52 P. NI.
- Izaguirre y Rojas, 2004. Comparación de métodos para estimar escurrimiento y producción de sedimentos en la Microcuenca 7, de la subcuenca III, Cuenca Sur del Lago de Managua, Nicaragua. Tesis. FARENA- UNA. Managua, NI.77 p.
- Kirkby, M.J, Morgan, R.P.C. 1984. Erosión de suelos. LIMUSA. MX. 375 p.

- Mendoza, S; Robleto, Q. 2001. Evaluación de barreras vivas de *Gliricidia sepium* en parcelas de escurrimiento y su valoración económica con sistemas rotativos anuales de maíz (*Zea mayz*. L) y frijol (*Phaseolus vulgaris*. L). Managua, NI. 67 Pág.
- Mendoza, F; Chévez, M. 2000. Análisis de la sensibilidad de las zonas de vida de Holdridge en Nicaragua en función del cambio climático. UNA. Managua, NI. 98 p
- Morales, J. 1998. Planificación y Manejo Integrado de Cuencas Hidrográficas. UNA. V.1º.NI .p.7
- Oldeman.1991. Clasificación de suelo por riesgo de erosión hídrica con planificación agrícola. HO. 100 p
- Páez, M. 1994. Clasificación de suelos por riesgos de erosión hídrica con fines de planificación agrícola. Revista de la Facultad de Agronomía. Universidad Central de Venezuela. Estado Aragua, VE, p. 83.
- Porta J. López A.M., Roquero C. 1999. Edafología para la agricultura y el medio ambiente. 2<sup>da</sup> edición. Ediciones Munid-Prensa. E S. 842 p.
- Rivas, D. 1992. Informe anual de parcelas de escurrimiento. Proyecto Agroforestal "El Pital". FARENA-CARE. Universidad Nacional Agraria. Managua, NI. 76 p.
- Somarriba, M. 1997. Soil Erosion and Conservation as affected by land use and land tenure, El Pital Watershed, Nicaragua. Master Science thesis. Texas A & M University, College Station, Texas, USA.
- Rivera y Galeano. 2005. Evaluación de erosión en los sistemas productivos agroforestales de la microcuenca Las mercedes de la subcuenca del Río Jiguina, Jinotega. Estudio de tesis. UNA – FARENA. NI
- Wischmeier, W.H. y Smith, D.D. 1978. Predicting Rainfall Erosion Losses, a Guide to Conservation Planning Agriculture Handbook N° 537. Departamento de Agricultura de los Estados Unidos, Washington, US.
- Wales J. Sanger L. 2001.Wikipedia La Enciclopedia libre. (en línea) .Wiki. consultado .24 Oct. 2007.Disponible en <http://es.wikipedia.org/wiki/Quebrada>"

# **ANEXOS**

## **Anexo1. Descripción del perfil del suelo Serie San Marcos (MC)**

### **I. INFORMACION ACERCA DEL SITIO DE LA MUESTRA:**

- a. Número de perfil: 4
- b. Nombre del suelo: San Marcos
- c. Clasificación a nivel de generalización amplia:
- d. Fecha de la observación: 24-08-06
- e. Autores: Domingo Rivas, Claudio González; Gerardo Pozo
- f. Ubicación del perfil: UTM 0576941 13262748
- g. Altitud: Aproximadamente 800 m.s.n.m.
- h. Forma del terreno:
  - i) Posición fisiográfica: Pendiente cóncava
  - ii) Forma del terreno circundante: Colinado
  - iii) Microtopografía: No es relevante
- i. Pendiente donde el perfil esta ubicado: Moderadamente escarpada (15 %)
- j. Uso de la tierra: Al momento de la observación el terreno se encontraba cubierto por cultivos de café en etapa de crecimiento. En los alrededores del terreno se observó diferentes prácticas de manejo de café bajo sombra.
- k. Clima: En esta zona las precipitaciones son de 1600 mm/año. Con temperaturas promedio anual entre 21° a 24°C. Se encuentran en la zona de vida de Bosque Tropical Pre-montano Húmedo

### **II. INFORMACION GENERAL ACERCA DEL SUELO**

- a. Material originario: Cenizas volcánicas
- b. Drenaje: Bien drenados – Clase 4 (Según FAO, 1977)
- c. Condiciones de humedad en el perfil: Seco en los primeros 20 cm; el resto del perfil húmedo
- d. Profundidad de la capa freática: Mayor de 200 metros
- e. Presencia de piedras en la superficie o afloramientos rocosos: Ninguna
- f. Evidencia de erosión: Se observa en el lugar del perfil erosión moderada, sin embargo es importante destacar el alto riesgo de erosión en esta zona por influencia de la pendiente.
- g. Presencia de sales o álcalis: No se observó ninguna reacción al HCl en todo el perfil.
- h. Influencia humana: La mayoría del bosque ha sido raleado para proveer sombra parcial a las plantas de café.

### **III. BREVE DESCRIPCION DEL PERFIL**

Consiste en suelos profundos, bien drenados, permeables con una textura franca en los primeros 35 cm, estructura en bloques, parda muy oscura y una capa endurecida o duripan, se derivan de cenizas volcánicas recientes y se encuentran en tierras altas fuertemente disectadas, a una elevación de 800 msnm.

### **IV. DESCRIPCION DEL PERFIL:**

- |               |   |
|---------------|---|
| A1<br>0 a 6   | centímetros, color pardo muy oscuro (10YR 4/3), franco; estructura en bloques sub-angulares, moderada; abundantes raíces finas y medias abundantes, no adherentes y no plástico en húmedo, frecuentes poros finos y muy finos, tubulares; límite abrupto y uniforme, pH moderadamente ácido (5.70). |
| A2<br>6 a 20  | centímetros, pardo muy oscuro (10YR 4/3), franco; estructura débil con bloques sub-angulares, moderada, finos y mediana, no adherentes, no plástico, muchos poros finos y muy finos, tubulares, simples, abundantes raíces finas, límite abrupto, pH 5.70.  |
| A3<br>20 a 35 | Centímetros, pardo grisáceo muy oscuro (10YR 3/2), franco, estructura débil, en bloques sub-angulares, abundantes raíces finas y muy finas, no adherentes, no plástico, muchos poros finos, tubulares, límite abrupto y uniforme, pH 5.60.  |
| B<br>Mayor 35 | centímetros, pardo amarillento oscuro (10 YR 4/4), franco, de estructura débil en bloques sub-angulares, moderada, mediana, no adherente, no plástico, abundantes poros finos, tubulares, raíces muy finas, límite difuso, pH moderadamente ácido( 6.30).   |

#### V. CARACTERISTICAS INTERPRETADAS DEL SUELO:

Suelo moderadamente profundos, bien drenados, color predominante pardo muy oscuro, de estructura en bloques sub-angular, textura franca, moderadamente ácido (pH 5.70), altos contenidos de materia orgánica (8.33 %), alta capacidad de humedad disponible y una zona radicular moderadamente profunda. Este suelo no es apto para uso agrícola intensivo, excepto para cultivo de café bajo sombra, que puede cultivarse en pendientes menores del 45%.

Se encuentran en la zona de vida de Bosque Tropical Pre-montano Húmedo y se usa principalmente para cultivos de café.

## **Anexo 2. Descripción del perfil del suelo Serie San Ignacio (SI)**

Consiste de suelos profundos, bien drenados, de textura liviana que se han derivado de ceniza volcánica reciente. Tienen un suelo superficial pardo muy oscuro y un subsuelo pardo a pardo oscuro. Los suelos se encuentran en las planicies disectadas al oeste del Volcán Santiago y al sur de Ticuantepe, a elevaciones entre 300 y 400 msnm.

Perfil representativo de la serie San Ignacio franco arenoso:

0 a 14	centímetros, pardo muy oscuro, franco arenoso muy friable; estructura granular fina y muy fina, débil; abundante raíces muy finas; neutro
14 a 34	centímetros, igual al horizonte anterior pero la estructura es de bloques subangulares finos y medios, débiles
34 a 52	centímetros, pardo grisáceo muy oscuro, franco arenoso muy friable; masivo; frecuentes raíces muy finas; neutro
52 a 85	centímetro, pardo a pardo oscuro, franco arenoso muy friable; masivo; pocas raíces muy finas; neutro; límite abrupto y uniforme
85 a 108	centímetros, pardo muy oscuro, arenoso franco muy friable con una gran cantidad de gravas de escoria basáltica fina y media; masivo; en algunos lugares está débilmente cementado; pocas raíces muy finas; neutro; límite abrupto y uniforme
108 a 120	centímetros, pardo a pardo oscuro, franco arenoso muy friable con algunas gravas basálticas finas; estructura de bloques subangulares finos, moderadamente débiles; pocas raíces muy finas; neutro.

El horizonte arenoso franco se encuentra a profundidades que varían de 70 a 110 centímetros. La parte superior es arenosa franca con un poco de gravas de escoria basáltica, y la inferior con muchas gravas de escorias finas y muy finas. La textura superficial también es más gruesa cerca del Volcán Santiago y más fina a mayor distancia del volcán.

### **Anexo 3. Descripción del perfil del suelo Serie Pacaya (PY)**

Consiste de suelos profundos, bien drenados, con un suelo superficial pardo muy oscuro y un estrato endurecido de espesor considerable, débilmente cementado y que se encuentra a profundidades de 60 a 75 % centímetros. Los suelos se han derivado de ceniza volcánica reciente y se encuentran en tierras altas fuertemente disertadas, a 5 kilómetros al sur de El Crucero y al este de la Carretera Panamericana. Las elevaciones varían entre 700 y 920 msnm. Los suelos de esta serie están asociados con suelos de la serie San Ignacio y forman complejos con estos.

Perfil representativo de la serie Pacaya franco arenoso fino:

- |           |  |
|-----------|--|
| 0 a 25    | centímetros, pardo muy oscuro franco arenoso fino, muy friable; estructura granular fina, moderada; abundantes raíces finas y muy finas; ligeramente ácido; límite abrupto y uniforme.                     |
| 25 a 40   | centímetros, pardo grisáceo muy oscuro, franco arenoso fino, muy friable; masivo; abundantes raíces finas y muy finas; medianamente ácido; límite abrupto y uniforme.                                      |
| 40 a 60   | centímetros, igual al anterior excepto por color pardo amarillento oscuro.   |
| 60 a 73   | centímetros, pardo grisáceo muy oscuro, franco limoso firme; Duro en seco; masivo; pocas raíces finas; ligeramente ácido.  |
| 73 a 91   | centímetros, pardo amarillento oscuro, franco arenoso fino, firme; Duro a muy duro en seco; masivo; pocas raíces finas; ligeramente ácido.   |
| 91 a 102  | centímetros, pardo grisáceo muy oscuro, franco arenoso fino, firme; Masivo; duro en seco; pocas raíces finas; ligeramente ácido.   |
| 102 a 113 | centímetros, pardo amarillento oscuro, franco arenoso muy fino; Masivo; extremadamente duro en seco; sin raíces; ligeramente ácido.  |
| 113 a 132 | centímetros, pardo grisáceo muy oscuro, franco arenoso fino, muy firme con muchas motas pardo grisáceo oscuras y pardo oscuras; Extremadamente duro en seco; ligeramente ácido; límite abrupto y uniforme. |

Los suelos tienen permeabilidad moderada, alta capacidad de humedad disponible y una zona radicular moderadamente profunda. Estrato endurecido con impedimento leve para las raíces y el agua, alto contenido de materia orgánica en el suelo superficial. El contenido de bases es bajo y la saturación de medios en potasio asimilable, pero deficientes en fósforo. Los suelos de esta serie son similares a los suelos de la series San Marcos y Guanacaste, pero tienen menor saturación de bases. Difieren de los suelos de la serie Masatepe, por tener éstos un estrato endurecido fuertemente cementado.

Se encuentran en la zona de vida Bosque Tropical Premontano Húmedo. La vegetación de bosques fue exterminada por los gases sulfurosos del Volcán Santiago entre los años 1940 y 1958 y actualmente soportan una vegetación de pastos y arbustos. Se usan principalmente para pastoreo.

## Anexo 4. Resumen Meteorológico Anual

### INSTITUTO NICARAGUENSE DE ESTUDIOS TERRITORIALES DIRECCION GENERAL DE METEOROLOGIA RESUMEN METEOROLOGICO ANUAL

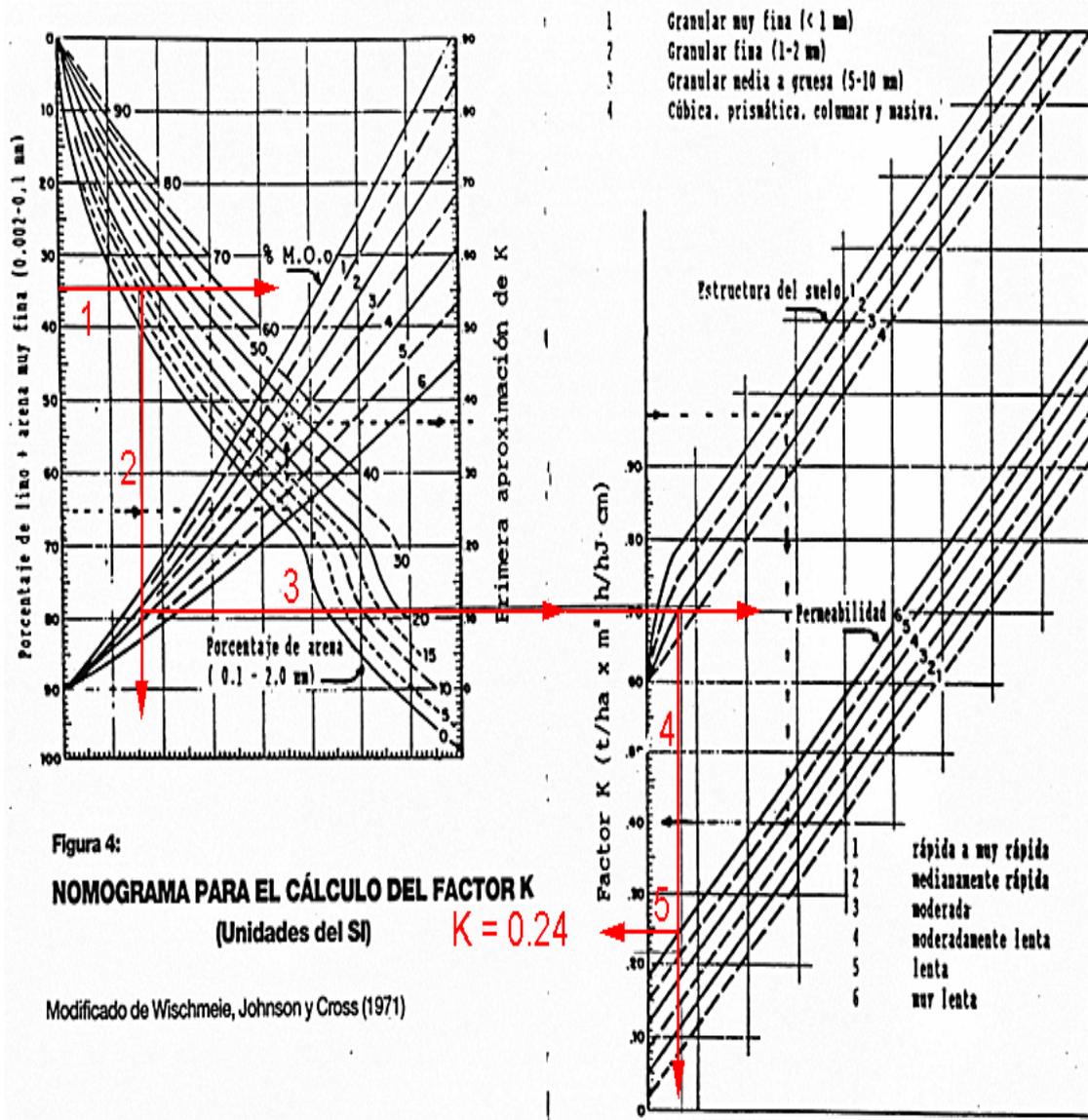
Estación: - LA PRIMAVERA      Latitud: 12° 01' 08" N  
 Código: 69 046                      Longitud: 86° 14' 55" W  
 Años: 1990 - 2006                  Elevación: 600 msnm  
 Parámetro: precipitación (mm)    Tipo: PV

Año	Enero	Febrero	Marzo	Abril	Mayo	Junio	Julio	Agosto	Septiembre	Octubre	Noviembre	Diciembre	Suma
1991	-	-	-	-	-	-	-	-	54.2	64.9	11.6	7.4	138.1
1992	2.1	6.3	0.0	21.5	-	-	-	-	-	18.3	13.3	16.9	78.4
1993	67.5	0.2	0.0	41.4	430.9	257.2	106.3	227.6	379.9	106.1	65.9	4.8	1687.8
1994	8.7	6.3	1.7	16.1	211.5	99.6	54.4	98.9	226.6	208.9	110.0	11.7	1054.4
1995	0.0	1.0	15.3	20.6	12.5	362.2	163.0	443.9	287.6	243.5	52.5	23.0	1625.1
1996	12.8	0.0	0.3	0.6	268.7	179.2	330.9	278.8	219.0	456.0	142.4	1.6	1890.3
1997	25.3	2.9	8.6	40.9	4.5	393.4	41.8	96.9	80.9	231.4	230.5	2.7	1159.8
1998	0.0	16.1	0.0	1.0	145.2	67.9	140.1	188.9	348.4	948.2	139.8	17.5	2013.1
1999	23.5	15.5	1.5	95.9	114.1	227.0	161.0	167.2	446.1	266.9	145.8	9.7	1674.2
2000	23.5	1.7	0.0	4.0	111.9	177.3	107.2	120.1	663.5	160.6	77.2	16.1	1463.1
2001	1.5	10.9	0.0	0.0	193.4	136.5	201.1	179.3	345.0	159.8	125.7	5.1	1358.3
2002	15.7	11.5	1.5	3.5	693.0	299.6	213.6	132.9	450.4	-	-	-	1821.7
2003	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
2004	32.0	4.5	12.6	96.3	299.7	255.4	352.0	100.2	272.2	250.5	94.6	6.7	1776.7
2005	17.7	6.4	3.5	28.5	225.9	223.2	170.1	185	314.5	259.6	100.8	10.3	-
2006	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Suma	212.6	76.9	41.5	341.8	2485.4	2455.3	1871.4	2034.7	3773.8	3115.1	1209.3	123.2	17741.0

**Anexo 5. Proceso del Cálculo del Factor R.**

<b>Mes</b>	<b>ENE</b>	<b>FEB</b>	<b>MAR</b>	<b>ABR</b>	<b>MAY</b>	<b>JUN</b>	<b>JUL</b>	<b>AGO</b>	<b>SEP</b>	<b>OCT</b>	<b>NOV</b>	<b>DIC</b>
Pp	17.7	6.4	3.5	28.5	225.9	223.2	170.1	185.0	314.5	259.6	100.8	10.3
Pp <sup>2</sup>	313.29	40.96	12.25	812.25	510.81	49818	28934	3425	98910	15575	10160	106
S P	<b>1364.7</b>											
SP <sup>2</sup>	<b>170116.75</b>											
R	<b><math>R = \sum P_i^2 / P = (170116.75/1364.7) = 124,865 * 17.02 = 2.147.68 \text{ MJ mm/Ha h año}</math></b>											

## Anexo 6. Nomograma para el Cálculo del Factor K



## Anexo 7. Tratamientos del Sistema de Producción de la Finca El Jardín

Foto 1. Plantación Nueva de Café (PNC)



Foto 2. Plantación de Café con Sombra en Producción (PCS)

