

EVALUACION DE METODOS DE ESTIMACION DE RIESGOS DE EROSION DE
SUELOS Y SU APLICACIÓN EN LA PLANIFICACION DE ALTERNATIVAS DE
CONSERVACIÓN En CUENCAS ALTAS: CASO MICROCUENCA ZARZALES LA
GRANDE

POR MARCO POLO CEVALLOS SUAREZ

TESIS PARA OPTAR AL GRADO DE MAGISTER SCIENTIAE EN GESTION DE RECURSOS
NATURALES RENOVABLES Y MEDIO AMBIENTE

CENTRO INTERAMERICANO DE DESARROLLO E INVESTIGACION
AMBIENTAL Y TERRITORIAL
UNIVERSIDAD DE LOS ANDES
MERIDA VENEZUELA
1997

AGRADECIMIENTOS

Deseo expresar mi agradecimiento a las personas e Instituciones que brindaron su valioso apoyo para la realización de este trabajo:

Al Banco Interamericano de Desarrollo (BID), por haberme becado para seguir mis estudios de Postgrado, así como a la Fundación Polar por el apoyo financiero brindado para la realización de este trabajo.

Al CIDIAT, por los conocimientos impartidos y la formación obtenida en el Curso de Maestría.

Al Ing M.Sc Fernando Delgado, amigo y tutor del presente trabajo, por sus orientaciones y apoyo permanente.

Al Ph.D Roberto López, por su permanente estímulo y apoyo incondicional durante la realización del presente trabajo

Al Ing For. M.Sc Alex Barrios e Ing M.Sc Mauricio Vera, por su asesoría y apoyo constante.

A la Ing M.Sc Yolanda Molina por el decisivo e invaluable apoyo en la logística del trabajo del campo, así como a la Geog. Esneira Quiñonez por su valiosos aporte en la elaboración de mapas.

Al personal del CIDIAT, particularmente a la amable atención del personal de Biblioteca, del laboratorio de Computación y a la Sra. Mercedes de Rivas por su colaboración constante.

A todos que contribuyeron y me alentaron, muchas gracias.

INDICE

	Pag.
AGRADECIMIENTO.....	v
LISTA DE TABLAS.....	xi
LISTA DE FIGURAS.....	xiii
LISTA DE SIMBOLOS.....	xiv
RESUMEN.....	xvii
Capítulo	
I. INTRODUCCION.....	1
Objetivos.....	2
II. REVISION DE LITERATURA.....	3
Erosión del suelo.....	3
Evaluación de la erosión hídrica.....	5
Métodos de evaluación de erosión de suelos.....	7
Estimación de la erosión a nivel de cuencas hidrográficas.....	8
Planificación conservacionista del uso de la tierra.....	10
Clasificación de tierras con fines conservacionistas.....	11
III. DESCRIPCION DEL AREA DE ESTUDIO.....	16
Ubicación y descripción.....	16
Relieve.....	16
Clima.....	16
Geología y Geomorfología.....	17
Suelo.....	17
Uso actual de los suelos.....	18
Zonas Agrícolas.....	19
Zona de pastoreo.....	19
Zona de bosque.....	19
Zona de páramo.....	19
IV. MATERIALES Y METODOS.....	21
Diagnóstico preliminar de la erosión en la microcuenca.....	21
División de la microcuenca en unidades homogéneas de paisaje.....	23
Mapa de pendientes.....	23
Mapa de profundidad del suelo.....	24
Mapa de Unidades homogéneas de paisaje.....	24
Métodos de estimación de riesgos de erosión hídrica.....	25
Ecuación Universal de Pérdida de Suelos (USLE).....	25
Factor erosividad de la lluvia (R).....	26
Factor erosionabilidad del suelo (K).....	28
Factor topográfico (LS).....	30
Medición de la erosionabilidad del suelo en campo.....	31

INDICE (Continuación)

Indice para evaluar Riesgos de Erosión Hídrica (IRE).....	32
Potencial de escorrentía.....	33
Agresividad de la lluvia.....	35
Pendiente del terreno.....	36
Método de estimación de erosión actual.....	32
Ecuación Universal de Pérdida de suelo.....	36
Factor de Cobertura y Manejo.....	37
Factor prácticas de conservación.....	39
Métodos de planificación conservacionista.....	40
Criterio de "CP" máximo de la Ecuación Universal de Pérdida de suelos.....	40
Sistema de Índice de Uso y Manejo (IUM).....	42
Índice potencial de erosión.....	43
Agresividad de la lluvia.....	43
Susceptibilidad del suelo a la erosión.....	44
Grado de desprotección de los grupos de cultivo.....	45
Clasificación de la capacidad de las tierras montañosas tropicales.....	45
V. RESULTADOS Y DISCUSION.....	49
Diagnóstico general del problema erosivo de la microcuenca.....	49
Unidades homogéneas de paisaje de la microcuenca.....	51
Estimación de los Riesgos de Erosión en la microcuenca.....	52
Ecuación Universal de Pérdida de Suelos (USLE).....	55
Medición de la erosionabilidad del suelo en campo.....	57
Cálculo del riesgo de erosión.....	54
Cálculo del riesgo de erosión.....	59
Índice de Riesgo de Erosión Hídrica (IRE).....	60
Cálculo de la erosión actual.....	62
Comparación de dos métodos de estimación de riesgos de erosión hídrica.....	63
Estimación de la erosión actual en la microcuenca.....	67
Ecuación Universal de Pérdida de Suelos.....	67
Planificación conservacionista del uso de la tierra.....	71
Criterio de "CP" máximo.....	71
Sistema de Índice de Uso y Manejo.....	74
Clasificación de la capacidad de las tierras.....	77
Comparación de tres métodos de planificación conservacionista...	81

INDICE (Continuación)

VI.	CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....	82
VII.	BIBLIOGRAFIA.....	85
	APENDICE 1.....	91
	APENDICE 2.....	108
	APENDICE 3.....	112

LISTA DE TABLAS

Tabla		Pag.
Pag.		
1	Clases de pendiente en relación al número de curvas de nivel.....	19
2	Clases de profundidad.....	20
3	Clasificación de algunos factores de la USLE.....	22
4	Métodos de análisis de suelo en laboratorio.....	25
5	Clasificación de los valores de IRE.....	29
6	Ecuaciones para valores de potencial de escorrentia.....	30
7	Tolerancia(T) en función de la profundidad efectiva.....	36
8	Sistema de clasificación de Riesgos de erosión.....	37
9	Determinación y prácticas de conservación de los grupos de cultivo según el IUM.....	38
10	Calificación del Índice Potencial de erosión.....	39
11	Calificación del Índice de erosión pluvial de Fournier. Agresividad de la lluvia.....	40
12	Grado de calificación de la susceptibilidad de los suelos a la erosión.....	40
13	Calificación del grado de desprotección de los grupos de cultivos.....	41
14	Modelo de clasificación de la capacidad de las tierras montañosas.....	42
15	Prácticas conservacionistas de acuerdo a la capacidad de uso.....	44
16	Características de las unidades homogéneas de paisaje.....	48
17	Índices de erosividad (R) mensual y anual de la estación "Las Playitas".....	56
18	Erosionabilidad del suelo de las unidades de paisaje.....	57
19	Medición de la erosionabilidad (K) de un suelos de la unidad B ₁	57
20	Valores del factor topográfico.....	58
21	Riesgo de erosión estimada por USLE.....	59
22	Potencial de escorrentia de las unidades de paisaje.....	61
23	Factor pendiente del terreno.....	63
24	Riesgos de erosión por el método USLE.....	62
25	Riesgo de erosión por dos métodos de estimación.....	65
26	Valores de cobertura y manejo promedio para una rotación papa-zanahoria papa.....	68
27	Valores de cobertura y manejo para diferentes usos de la tierra.....	68
28	Erosión actual en la microcuenca.....	69
29	Valores de "CP" máximos en unidad de paisaje.....	72
30	Requerimientos de prácticas de conservación en las unidades de paisaje..	73
31	Susceptibilidad de los suelos a la erosión.....	74
32	Índices potenciales de erosión de las unidades de paisaje.....	75
33	Grado de desprotección de tres grupos de cultivos representativos.....	75
34	Valores de IUM.....	76
35	Determinación y prácticas de conservación de los grupos de cultivo.....	77
36	Prácticas de conservación de suelos de acuerdo a su capacidad de uso....	79
37	Conflictos de uso del suelo. Relación vocación-uso.....	80
38	Diferentes prácticas conservacionistas de acuerdo a tres métodos de planificación.....	

LISTA DE FIGURAS

Figura		
Pag.		
1	Ubicación Nacional y regional de la zona de estudio.....	15
2	Esquema ilustrativo de las fases y métodos desarrollados en la cuenca.....	18
3	Mapa base de la cuenca.....	56
4	Mapa de pendientes.....	49
5	Mapa de profundidad de suelos.....	50
6	Mapa de Unidades homogéneas de paisaje.....	54
7	Modelo predictivo para estimar la erosividad mensual de la lluvia en función de la lámina de precipitación mensual.....	55
8	Curva acumulada promedio de R.....	56
9	Riesgos de erosión en las unidades de paisaje (USLE).....	60
10	Valores del índice de riesgo de erosión (IRE).....	63
11	Riesgo de erosión por el método IRE.....	64
12	Estimación de riesgos de erosión por USLE en función de los riesgos de erosión por IRE.....	67
13	Erosión promedio ponderado en las unidades de paisaje.....	71
14	Mapa de uso actual.....	72
15	Mapa de erosión.....	73
16	Mapa de capacidad de uso.....	79

LISTA DE SIMBOLOS

Mg	Megagramos
Mj	Megajuole
mm	Milímetro
cm	Centímetro
m	Metro
log	Logaritmo
h	hora
m²	metro cuadrado
m³	metro cúbico
t	tonelada
%	porcentaje

RESUMEN

El presente trabajo tiene como fin evaluar métodos de estimación de riesgos de erosión hídrica y de planificación conservacionista en una microcuenca de la región Andina.

Se realizó una división de la microcuenca hidrográfica en unidades homogéneas de paisaje, con la finalidad de conocer características de los factores de la erosión hídrica y su efecto en pérdida de suelos y alternativas de conservación de suelos. Se estudió los riesgos de erosión hídrica y erosión actual en función de factores de clima, topografía, suelo y cobertura y manejo de cuatro usos actuales del suelo en la microcuenca: pastos, bosques, páramo y cultivos.

Se realizó un diagnóstico del estado erosivo de la microcuenca y se procesó información de una estación climatológica y de características agrológicas a fin de generar información sobre los factores de erosión hídrica.

En cada unidad de paisaje se determinó los riesgos de erosión y erosión actual, y se planificó medidas de conservación de suelos. Así mismo se midió en campo la erosionabilidad del suelo en parcelas de erosión. Se elaboró mapas de erosión y de clasificación de tierras. Se hicieron comparaciones de resultados entre los métodos utilizados.

Los resultados obtenidos reflejan diferencias de estimaciones de riesgos de erosión y, de manera general, presentan de moderado a alto riesgo de erosión, así mismo se aprecia que bajo los usos actuales, existe una débil a moderada pérdida de suelos. Por otra parte, la planificación de prácticas conservacionistas de acuerdo al método usado son de diferente nivel de detalle, con ligeras diferencias en las medidas a ser implementadas.

La aplicación de metodologías de estimación de riesgos de erosión y de planificación conservacionista constituyen herramientas que facilitan la toma de decisiones por parte de los responsables en la gestión de Cuencas Hidrográficas.

CAPITULO I

INTRODUCCION

Una de las mayores limitaciones para ejercer una efectiva labor de prevención del desarrollo de procesos de degradación de los suelos reside en la falta de conocimientos adecuados acerca de las propiedades de los mismos y sus posibles interacciones clima-manejo. Tal situación adquiere gran relevancia en las cuencas hidrográficas altas de la región andina venezolana, donde asociado a variaciones altitudinales, se presenta una gama de condiciones edafoclimáticas que requiere ser estudiada, dada la variedad de situaciones y la magnitud de la intervención antrópica (López, 1994). Principalmente, la reforestación, el sobrepastoreo y el inadecuado empleo de técnicas agrícolas en las tierras de pendientes pronunciadas, aceleran las tasas de pérdida de suelo y degradación por efecto de la erosión hídrica.

Siendo la erosión hídrica un proceso de degradación de suelos de tan importante incidencia en las tierras andinas, se hace necesario conocer el proceso, los factores responsables de su expresión y sus efectos. Por lo tanto, para realizar una adecuada planificación de conservación de suelos se requiere conocer las relaciones de estos factores que causan las pérdidas de suelo y las medidas que ayudan a reducirlo a fin de formular mejores estrategias para disminuir la erosión hídrica a límites aceptables.

El manejo conservacionista de la tierra debe basarse en la utilización de cada suelo según sus potencialidades y el tratamiento según sus limitaciones. Para cumplir con este principio es importante clasificar las tierras por su capacidad de uso y asignar a cada suelo los usos y tratamientos más apropiados.

Para el estudio y evaluación de la erosión se han desarrollado métodos de distinta naturaleza; sin embargo, existe muy poca experiencia en la estimación de pérdida de suelos en cuencas altas con escasa información de clima y suelo especialmente. La necesidad de contar con métodos sencillos, efectivos y acordes a la realidad para estimar riesgos de erosión, obliga, desde el punto de vista de planificación de conservación de suelos, que se conozca las limitaciones y bondades de estos métodos.

La finalidad de este trabajo es generar información básica de los factores que influyen en la erosión hídrica utilizando diferentes métodos de estimación y determinar su aplicación en cuencas altas montañosas a fin de realizar un trabajo efectivo de planificación conservacionista.

Objetivos

Con base en los planteamientos anteriores, este trabajo persigue los siguientes objetivos :

General

- Aplicar comparativamente algunos métodos de estimación de riesgos de erosión hídrica de suelos y evaluar sus bondades y limitaciones para la planificación de conservación de suelos en una microcuenca alta de la región andina de Venezuela.

Específicos

- Elaborar un diagnóstico preliminar sobre el estado actual de la erosión de suelos en la microcuenca estudiada.
- Evaluar riesgos de erosión hídrica en la microcuenca utilizando dos métodos de estimación
- Estimar pérdidas de suelo bajo las condiciones actuales de uso de la tierra en la microcuenca.
- Definir requerimientos de conservación del suelo y diferentes alternativas de uso y manejo, usando tres métodos de planificación conservacionista.
- Comparar resultados y discutir bondades y limitaciones entre los métodos utilizados.

CAPITULO II

REVISION DE LITERATURA

Erosión del suelo

El término suelo está sujeto a muchas definiciones. Dado el carácter de este estudio se hará énfasis en el suelo como recurso natural, de uso múltiple de acuerdo a los requerimientos de un país o región y basado en las interpretaciones que se pueda dar a sus propiedades físicas y químicas que junto con los factores que han influido en su génesis, lo han ubicado en una determinada categoría del sistema de clasificación taxonómica utilizada (Andrade, 1974).

Páez y Rodríguez (1985) señalan que la erosión es un proceso continuo que consiste en la separación de las partículas y agregados de la masa del suelo y en su transporte y sedimentación en posiciones más bajas, en relación a su punto original; López (1995), en el sentido más amplio, indica que la erosión es un fenómeno ligado a la evolución fisiográfica de la corteza terrestre, que a través de su acción lenta y efectiva ha contribuido a esculpir el relieve terrestre, desde antes que las civilizaciones humanas iniciasen su actividad.

Delgado (1990) manifiesta que es un hecho demostrado que la erosión reduce la productividad de los suelos y señal que con frecuencia la erosión puede causar daños severos en las tierras agrícolas asumiéndose que los cambios que se generan en la productividad de los suelos son proporcionales a la magnitud del fenómeno erosivo.

De acuerdo a la influencia de la actividad del hombre, en relación al desarrollo de los procesos, pueden distinguirse dos clases generales de erosión : la geológica o natural y la antrópica (López, 1995).

La erosión geológica es un proceso lento e imperceptible, es el desgaste natural de la superficie terrestre sin la intervención del hombre. La erosión natural contribuye a la formación del relieve, a los procesos de meteorización de las rocas y a la formación de los suelos. La continuidad de los declives en la superficie terrestre, las corrientes de agua con cauces normales definidos y bien adaptados a la configuración de los valles por donde corren y los arroyos y ríos, que excepto en las crecientes siempre tienen sus aguas claras y limpias, son señales de erosión natural asociada a la condición normal del paisaje (USDA-SCS, 1966).

La erosión antrópica o acelerada es inducida por la actuación del hombre que interfiere y rompe el equilibrio existente entre los suelos, la vegetación, el agua y el viento, lo cual da lugar a formaciones terrestres erosivas y otras condiciones anormales, como son las cárcavas, los subsuelos descubiertos por la erosión laminar, los derrumbes, las carreteras socavadas, los lagos y reservorios colmatados y los cauces de los ríos obstruidos por sedimentos (López, 1995).

Los principales agentes de la erosión son el agua y el viento y, en menor grado de importancia, la temperatura y los agentes biológicos. El agua es el agente más importante de

la erosión. En cualquier lugar que se registre escurrimiento superficial sobre el suelo, ocurrirá la erosión del mismo ; la erosión causada por el viento es también de gran importancia, ya que el viento desprende, transporta y deposita las partículas del suelo (Torres, 1981).

Existen dos tipos importantes de erosión. La producida por el agua, conocida como erosión hídrica, y la producida por el viento o erosión eólica (Torres, 1981)

Erosión eólica es la erosión causada por el viento, en aquellas regiones donde no hay vegetación suficiente para cubrir y proteger el suelo, condición natural en tierras áridas y a lo largo de las riberas arenosas de los lagos, mares y ríos. Es también una característica común en terrenos arenosos bajo cultivo y predominancia de vientos fuertes (USDA-SCS, 1966).

Erosión hídrica del suelo es un proceso complejo, provocado e influenciado por factores de clima, topografía, vegetación y el suelo. Entre otros aspectos, el conocimiento del proceso es necesario para la selección o el diseño de los métodos adecuados de evaluación del proceso, los cuales van desde las observaciones y mediciones directas hasta la simulación del proceso a través de modelos matemáticos (López, 1994).

En todo el mundo, la erosión hídrica provoca el arrastre de unos 25,000 millones de toneladas de sedimentos, primero a los ríos y lagos o embalses y luego a los mares u océanos. Más específicamente, en Venezuela la producción de sedimentos se estima entre 500 y 2,000 toneladas por kilómetro cuadrado y por año (Jegat y Espinoza, 1991).

Gómez y Alarcón (1975) señalan tres clases de erosión hídrica, según la forma como el agua actúa en el suelo : erosión pluvial, erosión por escurrimiento y remoción en masa.

La erosión pluvial es causada por el impacto de las gotas de lluvia al caer sobre el suelo desnudo. Las gotas de lluvia caen con velocidad y energía variable de acuerdo a su diámetro, siendo capaces de desprender y dispersar las partículas de los agregados del suelo. Las partículas más finas son arrastradas en suspensión en las aguas de escorrentía, iniciándose así otras formas de erosión. Evidencias que denotan este tipo de erosión son las salpicaduras de suelo encontradas en el follaje más bajo de la vegetación y la formación de costras una vez que el suelo se seca.

Erosión por escurrimiento, ocurre cuando la intensidad de un aguacero es mayor que la velocidad de infiltración, gran parte del agua de la lluvia no logra infiltrarse en el suelo y entonces fluye por la superficie de los terrenos pendientes, ocasionando un flujo de escorrentía que arrastra el volumen de partículas de suelo desprendidas.

Teniendo en cuenta la pendiente, la clase de suelo y cantidad de agua, actuando ésta última como agente activo, se presentan diferentes formas de erosión por escurrimiento (Gómez y Alarcón, 1975) :

- Esgurrimiento difuso
- Erosión laminar

- Erosión en surcos
- Erosión en cárcavas
- Erosión regresiva o remontante
- Terracetas

La remoción en masa se debe, en términos generales y bajo condiciones particulares, a la acción del agua que se infiltra en el suelo, al desequilibrio del suelo ante dicha acción y al efecto de la gravedad. El movimiento de las masas de suelo originado por tales mecanismos puede ser de flujo lento, como la solifluxión o de flujo rápido como los derrumbes. La remoción en masa puede expresarse de diferentes formas, siendo las principales las siguientes (Gómez y Alarcón, 1975) :

- Deslizamientos
- Derrumbes
- Coladas de barro
- Solifluxión

Los deslizamientos se describen como movimientos de suelo en masa rápidos, que ocurre debido a una saturación y aumento de peso de la masa del suelo. Los derrumbes son desmoronamientos progresivos, por acción del agua y la fuerza gravitacional de las capas superficiales de los terrenos ubicados en zonas pendientes. La solifluxión es el movimiento o flujo muy lento de suelo o detritus saturados con agua y las coladas de barro son movimientos rápidos en forma de lodo.

Evaluación de la erosión hídrica

Para evaluar la erosión hídrica se han desarrollado diferentes metodologías, tanto a nivel de campo como de laboratorio, con diferentes grados de complejidad y alcances, siendo de interés común, la predicción de la vulnerabilidad a la erosión hídrica de los suelos bajo diferentes condiciones de clima, topografía y prácticas de manejo (López, 1994).

A pesar de que las principales formas y procesos de erosión hídrica de suelos se conocen relativamente bien, hay solamente estimaciones muy generales de las áreas actuales o potencialmente afectadas, de las tasas y riesgos de los procesos de erosión y su gravedad, pero es de poco valor para desarrollar e implementar estrategias para prevenirla o controlarla (Pla Sentís, 1991).

El **riesgo de erosión o la susceptibilidad del suelo a la erosión** se define en el Manual de Levantamientos de suelos USDA-SCS (1981), como el potencial inherente al suelo "en sí mismo", a sufrir erosión, si éste no se encuentra protegido adecuadamente y se aplican sobre él las fuerzas que causan erosión.

Páez (1989a), expresa que el **riesgo de erosión** depende sólo de los factores físicos : clima, topografía y propiedades del suelo y el **riesgo de erosión actual** se refiere al

riesgo que depende del efecto combinado de los factores físicos más el uso de la tierra y prácticas de conservación.

Delgado (1996), define al **riesgo de erosión o erosión potencial** como la máxima pérdida de suelo posible en ausencia de cobertura vegetal y prácticas conservacionistas. FAO/PNUMA/UNESCO (1980) señala que el **riesgo de erosión** se presenta como la ausencia de cobertura vegetal protectora.

Pla Sentís (1991) manifiesta que la combinación de la erosividad climática, la erosionabilidad del suelo y topografía, representan la erosionabilidad potencial de un terreno determinado. La erosividad es una expresión de la habilidad de los agentes erosivos, en especial del agua de lluvia, para causar la separación del suelo y su transporte. Siendo la lluvia el factor que inicia la erosión, ésta solo puede predecirse tan bien como pueda predecirse la lluvia y sus parámetros.

La evaluación de los riesgos de erosión hídrica sirve de base para las políticas de conservación de suelo, donde el objetivo es mantener la capacidad productiva del suelo a largo plazo, fijando, en función de factores inherentes al suelo, niveles aceptables de pérdida de suelo o la tolerancia (Mannering, 1981 ; Pierce, Larson y Dowdy, 1985 ; Heimlich y Bills, 1984 ; FAO, 1985).

La evaluación de tierras realizada por la FAO (1976), elaborada, particularmente para aquellos que participan activamente en la evaluación de tierras rurales, establece diversos principios de carácter y aplicación universal que entran en juego en la evaluación de tierras, tales como, la estructura de una clasificación de aptitud y los procedimientos para efectuar una evaluación de adaptabilidad de tierras.

El esquema de evaluación de tierras de la FAO ha venido siendo aplicado en diversos proyectos desde sus primeras versiones y se ha puesto en práctica en varios países, siendo objeto de adaptaciones e incorporación de nuevos procedimientos en la búsqueda de un sistema más ajustado a las condiciones del medio en particular, donde se implemente su uso (López, 1991).

En Venezuela el sistema de clasificación de tierras más usado fue el de Comerma y Arias (1971), que es una adaptación del sistema americano a nuestras condiciones. El Sistema Americano de las 8 clases de Klingebiel y Montgomery (1961), es una interpretación basada en los efectos combinados del clima sobre las características permanentes del suelo en cuanto a las limitaciones en su uso, capacidad productiva, riesgos de daños al suelo y requerimientos de manejo. Por consiguiente las unidades requeridas para aplicar el sistema serán las unidades taxonómicas y cartográficas derivadas de un levantamiento agrológico o de suelos.

El sistema americano o de las ocho clases, como también es conocido, toma en consideración los siguientes aspectos que afectan la capacidad productiva de las tierras :

- Características de los suelos : profundidad, textura, permeabilidad, capacidad de retención de humedad aprovechable, pH, fertilidad natural, salinidad o alcalinidad y pedregosidad.

- Características del terreno : pendiente (aspecto, longitud y gradiente, inundabilidad y dinámica del nivel freático.

- Características climáticas : precipitación y su distribución, evaluación de periodos o épocas aptas para cultivo.

Las categorías comprendidas en este sistema de clasificación de tierras por capacidad de uso son tres : clases, subclases y unidades de capacidad. Las subclases agrupan suelos, dentro de una clase, que poseen factores similares de limitaciones y/o riesgo de dañar al suelo. La subclase erosión (e) incluye tanto la susceptibilidad a la erosión como los efectos de erosión pasada que limitan su capacidad de uso o exigen prácticas de manejo especiales

Métodos de evaluación de erosión de suelos

En general los métodos para evaluar la erosión de los suelos y sus efectos pueden clasificarse en (Pla, 1991):

- Observaciones y mediciones.
- Técnicas que usan sensores remotos
- Modelos matemáticos
- Métodos paramétricos

Las observaciones y mediciones directas incluyen tanto las observaciones de indicios y manifestaciones de degradación en campo que constituye un método o criterio visual sencillo para la identificación de procesos de degradación que han ocurrido o que están actuando dentro de un área en particular y las mediciones de campo y laboratorio que se hacen con fines de evaluación de los procesos a través del tiempo. Si se trata de evaluar áreas extensas, métodos como los paramétricos, que interpretan el efecto de los factores ambientales, resultan más convenientes (López, 1995).

La utilización de técnicas de sensores remotos hace referencia al uso de toda una gama de material que va desde fotografías aéreas en blanco y negro hasta imágenes multiespectrales, imágenes de radar, etc.

Los métodos paramétricos permiten inferir la degradación de los suelos a partir de factores ambientales. La degradación puede expresarse en forma un tanto generalizada, considerando factores ambientales que intervienen en el desarrollo de los procesos.

Particularmente a escalas pequeñas, cuando las observaciones directas y las mediciones hechas sobre el terreno son inadecuadas, la evaluación por interpretación de los efectos de los factores ambientales resulta muy conveniente. Usando los valores

paramétricos presentados puede llegarse a la evaluación del riesgo de erosión hídrica y de la erosión hídrica actual (López, 1995).

FAO/PNMUA/UNESCO (1980) indica que no existe actualmente ningún modelo matemático operacional ampliamente ensayado, para predecir la degradación de los suelos, que sea conceptual.

Según Dudal (1979), se ha cuestionado el valor y suficiencia de la información provista por los sistemas tradicionales de reconocimiento y clasificación de suelos para hacer interpretaciones que tengan un valor predictivo adecuado en relación a procesos y efectos de la erosión hídrica. A pesar de que las técnicas modernas indirectas, como son el uso de sensores remotos, procesamiento computarizados de datos y modelos de simulación, pueden ayudar en las evaluaciones de la erosión, ellas siempre requerirán de mediciones directas de campo, confiables y precisas.

La erosionabilidad del suelo es una medida cuantitativa de la susceptibilidad inherente del suelo a la erosión. Las evaluaciones de dicha erosionabilidad se basan generalmente en (Pla Sentis, 1991) :

- Mediciones a largo plazo de pérdida de suelo o lluvia naturales en parcelas de erosión.
- Mediciones de pérdidas de suelos bajo lluvia simulada en el campo o laboratorio.
- Uso de ecuaciones de regresión predictivas basadas en parámetros del suelo fácilmente medibles.

El modelo más usado en el mundo para diferentes condiciones es la Ecuación Universal de Pérdida de Suelos (USLE en ingles), originalmente propuesta por Wischmeier y Smith (1978), que de acuerdo a las realidades y circunstancias en cada país ha sido adaptada, modificada y/o ha servido de base para generar nuevas propuestas de evaluación.

En Venezuela se han evaluado algunos factores de la USLE (Páez et al., 1989, Páez y Rodríguez, 1989; Rodríguez y Fernández, 1989) y a pesar de que las mediciones se han realizado en poco número de años, la investigación refleja que el modelo trabaja adecuadamente en nuestras condiciones, constituyendo una herramienta útil para la evaluación del riesgo de erosión y la planificación agrícola de la tierra (Páez, 1991).

Páez (1991), indica que entre los modelos de predicción de erosión, la Ecuación Universal de pérdida de suelo (USLE) es de gran utilidad, tanto para el diseño y selección de prácticas de conservación y su transferencia a nivel parcelario, como para la calificación de los riesgos actuales o potenciales de erosión de unidades de tierra.

La USLE desarrollada por Wischmeier y Smith (1978) es un modelo que permite estimar la erosión anual promedio a largo plazo para combinaciones específicas de condiciones físicas y de manejo. Está diseñada para ser utilizada en el campo por técnicos

y planificadores, es de fácil utilización e incluye sólo factores cuyos valores para un sitio específico pueden ser determinados a partir de los datos disponibles (Páez, 1989).

Delgado a su vez propone la utilización de un Índice para evaluar riesgos de erosión hídrica (IRE), que permite estimar la susceptibilidad de los suelos a la erosión en cuencas montañosas con escasa información.

Estimación de la erosión a nivel de cuencas hidrográficas

Según FAO (1992) una cuenca hidrográfica es una zona delimitada topográficamente que desagua mediante un sistema fluvial, es decir, la superficie total de tierras que desaguan en un cierto punto de un curso de agua o río. Una cuenca hidrográfica es una unidad hidrológica que ha sido descrita y utilizada como una unidad físico-biológica y también en muchas ocasiones como una unidad socio-económica-política para la planificación y ordenación de los recursos naturales. No hay un tamaño definido, puede tener desde una dimensión de varios miles de Kilómetros cuadrados hasta la de unos pocos kilómetros cuadrados.

Barrios (1995) indica que para la estimación de la erosión y producción de sedimentos a nivel de cuencas, se utilizan diferentes métodos, entre los más importantes se tiene:

- Mediciones : parcelas experimentales, aforos en cauce, batimetría en embalses
- Estimaciones (predicciones) : erosión : ecuaciones empíricas (USLE), ecuaciones de transporte de sedimentos (Einstein, Toffaletti.. etc.), movimientos en masa ; sedimentos : MUSLE, USLE y coeficiente de entrega ; capacidad total de transporte en una sección de cauce ; modelos basados físicamente en procesos : SWRRB, EPIC, ANSWER, HSPF, etc. ; modelos estocásticos, poco común en erosión y sedimentos.

A nivel de cuenca hidrográfica existen experiencias en las que la aplicación de la USLE ha dado resultados satisfactorios (Barrios, 1985 ; Calderon, 1987 ; MARNR, 1989 ; Jegat y Espinoza, 1991)

Jegat y Espinoza (1991) manifiestan que la información dispersa y poco detallada de las lluvias, los suelos, relieve, vegetación y uso actual de la tierra a nivel de cuenca, hace necesario definir y adaptar una metodología para evaluar los parámetros de la USLE en el estudio de erosión hídrica mediante el uso de la USLE, a esto hay que añadir la limitante que constituye la concepción original de este modelo, tan utilizado en todo el mundo

Delgado (1996) señala que la erosión de los suelos constituye el principal proceso de degradación de tierras en cuencas montañosas, la notoria escasez de información en esas áreas dificulta sensiblemente los procesos conservacionista del uso de la tierra

Barrios (1995) indica algunas limitaciones de la USLE para su aplicación en cuencas hidrográficas :

- Originalmente desarrollada para aplicarse en parcelas agrícolas.
- Extendida para usarse también en parcelas con vegetación forestal.
- De aplicación en parcelas o terrenos con pendientes uniformes y homogeneidad en suelo y vegetación.

Todos los factores de la USLE se desarrollaron usando una parcela de ensayo estándar :

- 22, 13 m de longitud.
- Terreno uniforme.
- Pendiente de 9%.
- Labrada en el sentido de la pendiente.
- En barbecho continuo (es decir sin vegetación).

La USLE fue derivada en unidades inglesas americanas (USA), con posterior conversión a unidades métricas y al sistema internacional. Solo los factores de clima y propiedades de suelo tienen unidades y son derivadas, creadas especialmente con ese propósito.

La USLE se desarrolló para calcular la erosión promedio de periodos largos y no se recomienda para predecir la erosión de un evento específico. La erosión para cualquiera de esos eventos puede ser muy diferente debido a la variación aleatoria que tiene el valor de los factores en el tiempo, por ejemplo la humedad antecedente, la velocidad del viento (Barrios, 1995).

En 1995, Barrios indicó que la aplicación de la USLE a nivel de una cuenca hidrográfica debe considerar los siguientes aspectos :

- La división de la cuenca en unidades homogéneas en cuanto a suelo-topografía y a la cobertura vegetal.
- La determinación del factor de erosividad de la lluvia a nivel puntual en las estaciones de precipitación disponibles, ubicadas dentro de la cuenca y en sus alrededores, para luego proceder a su distribución espacial utilizando técnicas de interpolación y extrapolación.
- Estimación en cada unidad homogénea de los factores de la USLE : R.K.L.S.C.P.
- El cálculo de la erosión para cada unidad homogénea multiplicando los factores anteriores.
- El cálculo de la erosión media a nivel de la cuenca total, ponderando el valor parcial de erosión de cada unidad homogénea según la superficie ocupada.

Planificación conservacionista del uso de la tierra

La planificación dentro de un contexto ambiental se define como el arte de administrar bien el ambiente por el hombre, en su propio provecho (López, 1991).

La planificación es también el proceso mediante el cual los gobiernos producen planes y seleccionan proyectos de desarrollo, lo cual funciona a diferentes niveles : nacional, regional y local (Nucete, 1975).

FAO (1992) indica que el estudio y planificación a nivel de cuencas debe realizarse en cuatro niveles :

- Nivel nacional
- Nivel regional o distrito
- Nivel de cuenca y subcuenca
- Nivel de finca agrícola o comunidad

A nivel nacional, suele ser suficiente un reconocimiento rápido con la ayuda de fotografías aéreas u otras técnicas de teledetección.

El estudio a nivel regional, se realiza ya sea de forma específica para un grupo de cuencas hidrográficas o conjuntamente con los planes regionales de desarrollo.

A nivel de cuenca hidrográfica, se realiza un estudio y planificación muy detallados, porque la cuenca es una unidad funcional que une, en un sistema integral, las áreas situadas aguas arriba y aguas abajo. La planificación se puede concentrar también en las subcuencas que tienen problemas especialmente graves o áreas críticas.

La planificación a nivel de fincas o comunidad va dirigida a grupos de fincas y al desarrollo comunitario. El objetivo es mejorar la gestión de las fincas y el desarrollo de las comunidades dentro del área de la cuenca.

Páez, Fernández, Rodríguez y Lizaso (1985) presentan algunos objetivos que deben cumplirse en la planificación del uso de la tierra, especialmente las actividades dirigidas a :

- Asegurar los medios para la producción agrícola
- Proteger las tierras agrícolas
- Identificar y/o zonificar las tierras agrícolas
- Zonificar la distribución de cultivos y/o sistemas de producción agrícola

Determinar el uso o aprovechamiento apropiado de las distintas clases de tierra es lo primero que debe efectuarse como labor de conservación, sea a nivel de finca, de cuenca o región. Las prácticas son simplemente complementos del uso apropiado (López, 1991).

La planificación científica de la conservación del suelo y el agua requiere conocimientos de las relaciones entre los factores que causan la pérdida del suelo y agua y aquellos que ayudan a reducirlos. Se requieren lineamientos generales para ayudar a

seleccionar las prácticas más deseables para cada unidad de producción específica (Páez, 1989).

La necesidad de la planificación del uso de la tierra surge frecuentemente de presiones y necesidades cambiantes en las que participan usos competitivos sobre una misma superficie de la tierra. La función de la planificación del uso de la tierra es orientar las decisiones al respecto, de manera que el hombre haga el uso más beneficioso de los recursos naturales, conservándolos a la vez para el futuro (López, 1991).

Para muchas cuencas hidrográficas de los países en desarrollo, la planificación del uso apropiado de las tierras y de las necesidades de conservación de suelos es una tarea muy importante. La principal preocupación de los gestores o planificadores de cuencas consiste en que la tierra sea utilizada adecuadamente (FAO, 1992).

Clasificación de tierras con fines conservacionistas

López (1991) indica que existe una gran variedad de sistemas para la clasificación de tierras con objetos conservacionista más o menos explícitos. Pero es quizás el sistema americano o de las ocho clases el de mayor uso actual en este continente americano.

Algunos autores han sugerido que el sistema americano resulta inadecuado para identificar los riesgos de erosión a un nivel adecuado para basar los planes de conservación de suelos y han propuesto clasificaciones alternativas, como las que se basan en la utilización de los factores físicos de la Ecuación Universal de Pérdida de Suelos -USLE (Gachene y Barber, 1982 ; Heimlich y Bills, 1984 ; Páez y Rodríguez, 1985 y Lee y Goebel, 1986). En el caso particular de Venezuela, Comerma y Arias (1971), presentan modificaciones al sistema americano.

Así se tiene que Heimlich y Bills (1984) proponen una clasificación de erosión del suelo mejorada para basar políticas de conservación, en la cual utiliza el C.P como criterio de diagnóstico para clasificar tierras desde el punto de vista del riesgo de perder la capacidad productiva de la tierra por erosión.

Páez y Rodríguez (1989) proponen utilizar el factor "CP máximo" de la Ecuación Universal de Pérdida de Suelo (USLE), como criterio de diagnóstico en la clasificación y evaluación de tierras agrícolas. Este factor interpreta el riesgo de perder la capacidad productiva de la tierra por erosión hídrica y considera las máximas pérdidas de suelo que pueden tolerarse en función de las características físicas y químicas del suelo, con orientación hacia el uso y manejo apropiado de las tierras.

Como sostiene Foster (1979) la USLE constituye, a corto y quizás a mediano plazo, la única ecuación práctica disponible para estimar la erosión y orientar hacia planes de conservación de la tierra. Las modificaciones de la USLE y otros modelos más sofisticados de predicción de erosión, exigen de información muchas veces no disponible. Sin embargo,

como advierte Wischmeier (1984), esta ecuación debe utilizarse dentro de las premisas que involucra para que realmente los resultados obtenidos se ajusten a la realidad.

Beek (1978), revisó los sistemas de clasificación general de tierras de 5 países latinoamericanos como Venezuela, Nicaragua, Brasil, Chile y México y determinó que es el de Brasil el que más adaptaciones tiene en torno a su contexto local. Sin embargo ninguno de ellos fue considerado lo suficientemente orientado hacia la conservación del suelo como para ser útil a nivel detallado.

El éxito y la eficiencia de las prácticas de conservación depende de la correcta selección, combinación y ubicación que se haga de ellas, para lo cual debe tenerse en cuenta las relaciones material de origen-suelo-clima-planta-hombre (Gómez, 1975).

Aguilar y Aldana 1989 citado por López (1991), citan la evaluación del uso potencial de las tierras en países centroamericanos aplicando la metodología propuesta por Plath (1963), la cual considera las variables recursos físicos : suelos, clima, topografía y variables de carácter socio-económico, definiendo un nivel tecnológico específico.

Sheng (1972) realizó una clasificación de tierras por su capacidad y aptitud , esta clasificación constituye la base para el uso apropiado de la tierra. Se ha desarrollado muchos criterios de clasificación desde que se introdujo el primero en los años 1930 por el Servicio de Conservación de Suelos de los Estados Unidos.

Para las cuencas de montaña, en muchos países en desarrollo se ha empleado con éxito, a partir de los años 70, una clasificación orientada al tratamiento. Las características y el empleo de esta clasificación se pueden describir brevemente de la siguiente forma (FAO, 1992):

- Se clasifican las tierras atendiendo a dos factores principales : pendiente y profundidad del suelo. Cuando se presenta un tercero, un factor limitante del suelo, las tierras se clasifican como únicamente apropiadas para un uso poco intensivo.
- Cada clasificación se acompaña con las necesidades de tratamiento de las tierras. Una parcela que no puede ser tratada con las medidas de conservación prescritas, no debe emplearse para cultivo o para trabajos de huerta.
- Las tierras se clasifican por el uso permisible de carácter más intensivo. Se puede hacer un uso menos intensivo pero no más intensivo.
- La clasificación la puede aprender y aplicar con rapidez personal semiespecializado, para encontrar tierras aptas para cultivo, huertos, pastos o bosques, al nivel de una cuenca hidrográfica ya sea para reordenar el uso de las tierras, para colonización o para fines de desarrollo.

Hidalgo (1984), utilizó la clasificación de tierras montañosas, con base en Sheng (1972) y Michaelsen (1977). Esta es una clasificación bastante sencilla, con marcada

orientación conservacionista, pero, sin embargo, interesante a nivel de planificación preliminar.

Gómez (1975) desarrolló un sistema para la determinación del uso y manejo de los suelos de ladera (IUM) que se apoya en la ecuación universal de erosión e integra los factores activos como agresividad de la lluvia, pasivos como la susceptibilidad del suelo a la erosión y temperantes que influyen en la erosión y productividad de los suelos, facilitándole al técnico la determinación del uso y manejo de los suelos de ladera, a nivel regional o de finca a través de tablas explicativas. Es un sistema cualitativo de orientación, no cuantitativo. El sistema en principio orienta sobre la vocación del suelo en función del índice potencial de erosión y la desprotección del grupo de cultivo.

CAPITULO III

DESCRIPCION DEL AREA DE ESTUDIO

Ubicación y descripción

La microcuenca Zarzales -La Grande forma parte de la cuenca alta del río Mocoties, importante tributario del río Chama, el cual drena finalmente en el Lago de Maracaibo. Se encuentra ubicada en el Municipio Rivas Dávila al sudoeste del estado Mérida, ocupando una superficie aproximada de 25 Km².

El área en estudio está comprendida dentro de las siguientes coordenadas: 8°15'39" y 8 19'40" de latitud Norte y 72°52'15" y 72 59'11" de longitud Oeste.

En cuanto a la configuración topográfica, la microcuenca está constituida por una área predominantemente montañosa, con limitaciones de accesibilidad, ya que sus únicos accesos son la carretera Bailadores- La Grita.

En la Figura 1, se muestra la ubicación del área de estudio.

Relieve

Las pendientes del terreno tiene un papel importante, por las limitaciones que impone al uso de la tierra. En general , la fisiografía del área presenta una orientación SO-NE, que define la orientación de su curso de agua principal el río Zarzales.

El paisaje dominante es de montaña con vertientes, especialmente en la parte alta y media de la cuenca. La parte baja lo constituye un fondo de valle. Este es un relieve característico de las zonas de montaña: grandes alineaciones separadas por profundos valles.

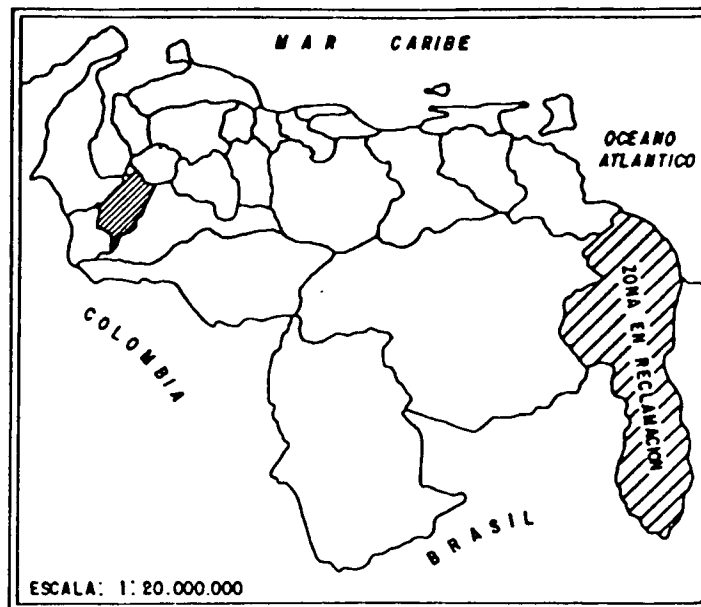
La altitud sobre el nivel del mar oscila entre los 2200 msnm en su punto más bajo y los 3.600 msnm en sus puntos más altos.

Clima

El clima de la microcuenca Zarzales-La Grande, influye tanto en la constitución de las especies vegetales, como en la formación de los suelos. También va a ser un factor determinante en la definición de restricciones o posibilidades de uso según las características de cada lugar. La precipitación media es de 640 mm aproximadamente. En el apéndice 1 se presentan las precipitaciones diarias, mensuales y anuales.

Las diferencias estacionales del comportamiento pluviométrico en el área tiene sus incidencias importantes en el desarrollo de las actividades agropecuarias, en el cual se ha hecho necesario el establecimiento de sistemas de riego que permiten una mejor administración del recurso agua y el almacenamiento de la misma, especialmente, en periodos de verano.

SITUACION RELATIVA NACIONAL DEL ESTADO MERIDA



SITUACION RELATIVA REGIONAL DEL MUNICIPIO RIVAS DAVILA

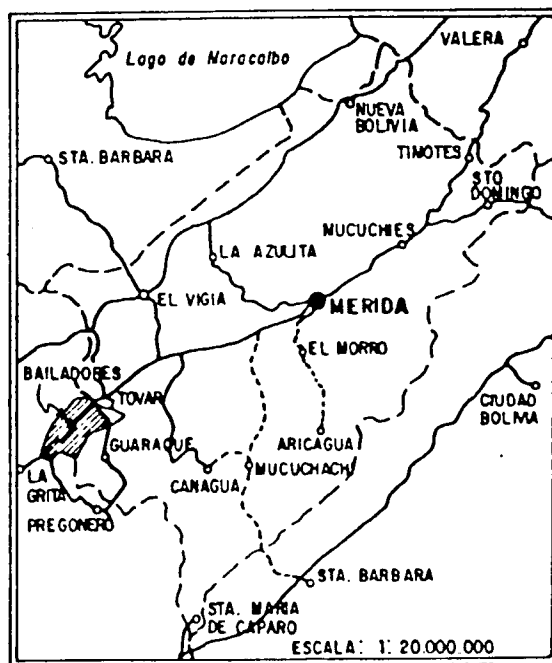


Figura 1. Ubicación Nacional y Regional de la zona de estudio

Geología y Geomorfología

Los Andes venezolanos están considerados dentro del tipo de cadenas montañosas plegadas, cordilleras que se caracterizan por una larga evolución. De acuerdo a estudios realizados por Castillo (1975), en la zona de estudio afloran tanto formaciones precámbricas y paleozoicas, como cuaternarias.

Las formaciones precámbricas se presentan principalmente en las zonas altas de la vertiente izquierda y en la cabecera de la cuenca. La formación precámbrica presente es la formación Sierra Nevada. Estas formaciones están constituidas por una serie de rocas muy alteradas como gneises, cuarzos feldespáticos-micáceos, gneises graníticos y granitos intrusionados por diques de pegmatitas y esquistos.

La formación paleozoica presente es la formación Mucuchachí, del paleozoico superior. Esta formación se emplaza fundamentalmente en la vertiente derecha del río Mocotíes ocupando las partes más elevadas de la misma. La formación está constituida por filitas grises finamente laminadas, astillosas, con altos porcentajes de pirita, areniscas cuarzosa, cuarcitas, pizarras y calizas cristalinas macizas laminadas.

Los depósitos cuaternarios se emplazan a lo largo del fondo de valle, tanto del río Mocotíes, como de sus afluentes, especialmente donde la amplitud del valle y las bajas pendientes permitieron en el pleistoceno y holoceno reciente la acumulación y sedimentación de los materiales arrastrados desde las vertientes por acción de los distintos fenómenos morfodinámicos que definieron en el pasado las variadas posiciones geomorfológicas que hoy se presentan en el área.

Las posiciones cuaternarias constituyen las principales áreas de desarrollo agropecuario y, en general, la mayoría de las actividades humanas en la zona.

Entre los depósitos cuaternarios se pueden distinguir los siguientes:

- Lavas torrenciales, que ocupan un alto porcentaje del fondo de valle sobre el cual se asienta el poblado Las Playitas.
- Conos de Deyección que sirven de asiento a buena parte de los sistemas agrícolas.
- Terrazas, presentes en pequeñas franjas desde las nacientes del río Zarzales y se extienden a las orillas de este río.

Suelo

Según Castillo (1975), los suelos del área presentan características muy variadas debido al variado comportamiento de los factores formadores del mismo: clima, vegetación, relieve, material parental y uso.

Los suelos desarrollados a partir de materiales residuales ocupan la mayor porción del área (mayor al 85%). Su característica principal son las pendientes excesivamente fuertes. Pese a que muchos de estos suelos se encuentran bajo una cubierta de bosques naturales, las fuertes pendientes provocan procesos, que van desde la remoción de partículas inferiores hasta movimientos en masa como deslizamientos y reptación. Dichos procesos son, en su mayoría, acelerados por la intervención antrópica. Estos suelos son en general de poco desarrollo, pues su principal limitante, la pendiente, impide su proceso de formación, a lo cual, como se ha señalado antes, se añade la acción del hombre.

Dado su poco desarrollo estos suelos presentan materiales poco alterados, con gran similitud a los que componen su material parental. Por ello se presenta una alta proporción de fragmentos rocosos, lo que hace que predominen suelos pedregosos. Así, la intervención de estos suelos para el uso agropecuario conlleva, entre sus primeras acciones de laboreo, el despiedre (Castillo, 1975).

La textura de los horizontes superficiales tiene gran influencia de la granulometría del material originario, encontrándose entonces texturas que van desde franco-arenosas, a franco arcillosas.

Por su parte, los suelos formados a partir de materiales transportados y sedimentados en los fondos del valle, en distintas posiciones geomorfológicas, ocupan menos del 15% de la superficie del área.

Los suelos con mayores posibilidades de aprovechamiento se presentan en los depósitos cuaternarios, los cuales son suelos de textura franco arcillosa, con gran contenido de materia orgánica y buen drenaje.

Uso actual de los suelos

En el área de la microcuenca se pueden distinguir básicamente cuatro grandes tipos de uso actual:

Zonas agrícolas

La actividad agrícola se localiza en el piso altitudinal comprendido entre los 2200 y 3400 msnm y fundamentalmente en el valle que se encuentra a lo largo del río Zarzales y en áreas de acumulaciones aluviales como conos de deyección. Los sectores donde existen un desarrollo agrícola son : Las Playitas, Río Arriba, El Rincón y Marmolejo.

Los cultivos predominantes son la papa y zanahoria y en menor grado la fresa, cebollín, ajo, remolacha, repollo, maíz y ajoporro. El sistema de producción agrícola en los últimos años ha incorporado nuevas técnicas y prácticas agrícolas como : uso de semillas mejoradas, riego por aspersión, fertilización química. Existe un uso inadecuado de pesticidas que son utilizados para el control de malezas, plagas y enfermedades.

En sectores donde su topografía y pedregosidad lo permiten, se usa maquinaria agrícola principalmente en la preparación de tierras; sin embargo el uso de arados de madera tirado por bueyes es el más común en la zona.

No existe épocas de siembras definidas, debido a la disponibilidad de sistemas de riego. De acuerdo al tipo de cultivos, en la zona se siembra dos o tres veces al año, por ejemplo las hortalizas, son cultivos de ciclo corto, de los cuales obtiene una alta rentabilidad económica. Sus productos son comercializados en los mercados más cercanos, y/o en mercados de otros estados del país.

Zona de pastoreo

El pasto predominante es el Kikuyo, pasto introducido, pero adaptado excelentemente en la zona ; es un pasto con un buen desarrollo foliar y con alto contenido en nutrientes. Los pastos se encuentran en el piso altitudinal comprendido entre los 2200 y 3300 msnm

La rotación de pastos más frecuente es Kikuyo-pastos naturales-Kikuyo. La aplicación de fertilizantes y agroquímicos es mínima. Existen grandes extensiones de terreno dedicadas a pastos, tanto en la parte baja, media y alta de la microcuenca .

Zona de bosques

Los vegetación boscosa constituyen los bosques altos densos, bajos densos y bajo ralos, así como matorrales densos y ralos. Los bosques son naturales y se encuentran en la sección media y alta de la microcuenca. Existen bosques artificiales de pino en pequeña escala y se encuentran en la sección baja de la microcuenca. Los bosques se encuentran en rango de altitud comprendido entre los 2350 y 3300 msnm.

Zona de páramo

La zona de páramo se encuentra en la sección más alta de la cuenca entre los 3300 y 3600 msnm, constituida principalmente por frailejones y pajonales, y en menor proporción especies arbustivas típicas de estas zonas altas.

CAPITULO IV

MATERIALES Y METODOS

Este capítulo se divide en cinco partes: la primera está relacionada con el diagnóstico preliminar de la erosión, la segunda con la división de la microcuenca para la aplicación de los métodos, la tercera, cuarta y quinta parte con la descripción, aplicación y comparación de los métodos de estimación de riesgos de erosión hídrica, de erosión actual y de planificación conservacionista respectivamente.

En la aplicación de los diferentes métodos a nivel de la microcuenca hidrográfica, se consideró los siguientes aspectos:

- División de la microcuenca en unidades homogéneas de paisaje.
- Estimación en cada unidad de paisaje de los factores que influyen en la erosión.
- Cálculo de riesgos de erosión y erosión actual para cada unidad de paisaje.
- Cálculo de riesgos de erosión y erosión actual a nivel promedio para la microcuenca.
- Planificación conservacionista para cada unidad de paisaje.

En la Figura 2, se presenta un esquema ilustrativo de las fases y métodos desarrollados en la microcuenca en estudio.

Diagnóstico preliminar de la erosión en la microcuenca

El diagnóstico preliminar de la microcuenca se realizó básicamente en dos etapas: recopilación de información básica y observaciones de campo.

La recopilación de información cartográfica, clima y geomorfológica se obtuvo de diferentes fuentes. La información de clima y específicamente de precipitación fue suministrada por el Fondo Nacional de Investigaciones Agropecuarias (FONAIAP), de la estación climatológica Bailadores, ubicada en el Municipio Rivas Dávila dentro de las siguientes coordenadas: 08°15' de Latitud Norte y 72° 52' de Longitud Oeste. Los años de registro fueron de 1987 a 1995.

La información geomorfológica se obtuvo del estudio realizado por Castillo (1972) en la cuenca alta del río Mocotíes.

Para el desarrollo del diagnóstico preliminar del estado de erosión de la microcuenca, se realizaron algunos viajes a la zona con el objetivo de:

- Informar a la población local el propósito del trabajo, a través de reuniones comunales con participación de delegados del Municipio Rivas Dávila y ONG's locales.
- Efectuar recorridos de reconocimiento de los diferentes sectores de la microcuenca.
- Entrevistar a productores agrícolas.

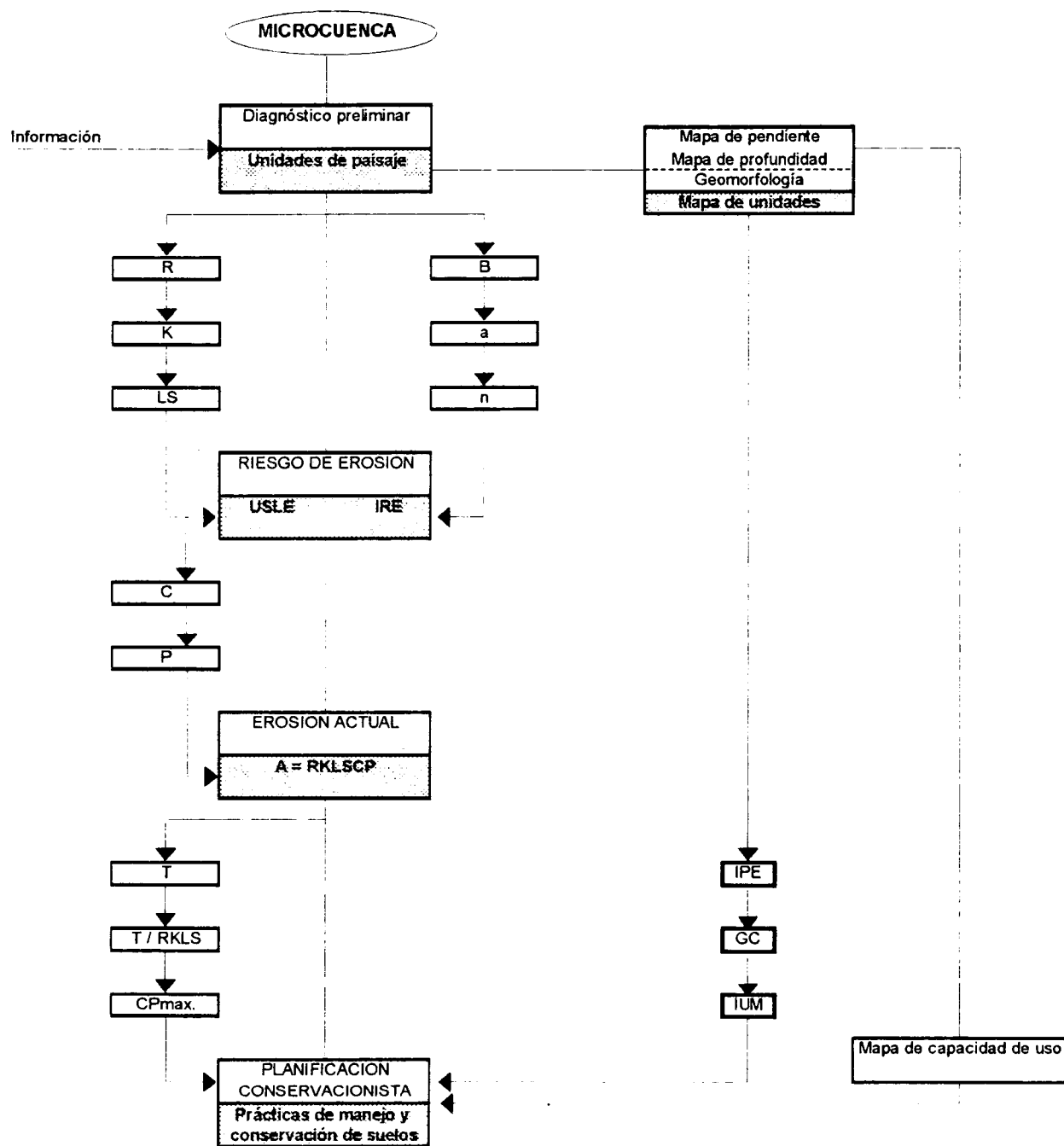


Figura 2. Esquema ilustrativo de las fases y métodos desarrollados en la cuenca

La definición de la extensión afectada por la erosión se realizó manualmente trazando en círculos, en el mapa base de la microcuenca, las áreas con problemas de erosión, previamente reconocidas en campo. La determinación de la superficie se efectuó en gabinete utilizando un planimetro.

División de la microcuenca en unidades homogéneas de paisaje

Unidad Homogénea de Paisaje en este estudio se define como una área con características propias de paisaje en cuanto a pendiente del terreno, profundidad efectiva del suelo y geomorfología de la zona ; características que la diferencia o asemeja a las unidades.

La división de la microcuenca en unidades homogéneas de paisaje se realizó con la siguiente secuencia :

Mapa de pendientes del terreno

FAO (1992), destaca la importancia del análisis de pendientes porque éste es el primer paso para un uso racional de las laderas de una cuenca hidrográfica. Los materiales utilizados para la elaboración del mapa de pendientes fueron :

- Mapa topográfico : se utilizó el mapa topográfico de la zona a escala 1 : 10,000 con equidistancia de las curvas de nivel a 100 m.
- Lámina de cuadrículas : se dibujó en papel transparente, cuadrículas de 10 cm²
- Tabla para el análisis de pendientes : se elaboró una tabla de pendientes en relación al número de curvas de nivel, con base en el procedimiento desarrollado por Sheng, 1972 citado por Delgado (1995) :

$$P = DV/DH \times 100 \quad (4.1)$$

donde :

P Pendiente (%)

DV Distancia vertical en el terreno (m) (No. de curvas de nivel x equidistancia)

DH Distancia horizontal de la cuadrícula en el terreno (m²)

Tabla 1. Clases de pendiente en relación al número de curvas de nivel

N ₀ de curvas con cuadrícula de 10 x 10 cm	Clases de pendiente(%)
0,1,2	< 10
3	10 - 30
4	30 -40
5	40 - 50
6	50 - 60
Mas de 6	Mas de 60

El procedimiento para la obtención del mapa de pendientes fue :

- Sobreposición de la lámina de cuadrículas, al mapa topográfico
- Conteo de las curvas de nivel que se encontraron dentro de cada cuadrícula
- Determinación de las clases o rangos de pendiente a partir de la Tabla 1.

- Elaboración del mapa con clases de pendiente a escala 1 : 10,000

Mapa de profundidad del suelo

La profundidad efectiva del suelo se define como el espesor medido desde la superficie al cual puede llegar y desarrollarse las raíces de las plantas sin ser inhibidos por limitantes de carácter físico o químico. Los materiales utilizados fueron : barreno y mapa base

Procedimiento para la elaboración del mapa de profundidad del suelo :

- Se efectuaron mediciones de profundidad al cambiar la topografía del terreno, es decir cumbre y laderas.
- Se realizaron mediciones de profundidades en toda la microcuenca, a fin de obtener una idea general de la profundidad del suelo.
- Con base en las clases de profundidad tomadas de Sheng, 1972 citado por Delgado (1995), se delimitaron las unidades de clases de profundidad. En la Tabla 2 se indica las clases de profundidad y su respectiva calificación.
- Finalmente se elaboró el mapa de profundidad del suelo a escala 1 : 10,000
- El mapa de presentación gráfica se realizó a escala 1:25,000

Tabla 2. Clases de profundidad

Profundidad del suelo (cm)	Calificación (Páez, 1989)
< 20	Superficial
20 - 50	Poco profundo
50 - 90	Mod. Profundo
> 90	Profundo

Mapa de unidades homogéneas de paisaje

El procedimiento para realizar el mapa de unidades homogéneas de paisaje fue el siguiente :

- En una mesa de luz, se colocó el mapa base de la microcuenca en estudio
- Se colocó sobre el mapa base el mapa de pendiente del terreno y sobre éstos el mapa de profundidad del suelo.
- Se superpuso una hoja transparente para elaborar el borrador de mapa de unidades de paisaje
- En el borrador del mapa de unidades se señalan aproximadamente las áreas con diferentes formaciones geológicas y morfología. Características que fueron tomadas del mapa geomorfológico de la cuenca alta del río Mocoties a escala 1 : 50,000.

- El mapa final de las unidades homogéneas de paisaje se dibujó a escala 1 : 10,000

Una vez definidas las unidades homogéneas de paisaje, se describieron las características de cada una de ellas.

Métodos de estimación de riesgos de erosión hídrica

El riesgo de erosión es la máxima pérdida de suelo posible en ausencia de cobertura vegetal y prácticas conservacionistas (Delgado, 1996), por lo que depende sólo de los factores físicos de clima, topografía y propiedades del suelo.

En esta parte se describen los métodos de la Ecuación Universal de Pérdida de Suelos USLE (Wischmeier y Smith, 1978), la medición de la erosionabilidad del suelo en campo con base en USLE, e Índice de Evaluación de la erosión hídrica IRE (Delgado, 1996). USLE e IRE fueron aplicados para la estimación de riesgos de erosión en cada una de las unidades homogéneas de paisaje.

El riesgo de erosión promedio de una cuenca se puede usar para comparar los riesgos entre cuencas (Delgado, 1996). Para la microcuenca en su conjunto se calculó un valor promedio, ponderando el valor parcial de riesgo de erosión de cada unidad homogénea de paisaje, según la superficie ocupada. El riesgo de erosión promedio se calculó con base en la siguiente expresión:

$$Rem = \frac{\sum (REu)Su}{\sum Su} \quad (4.2)$$

donde :

Rem	Riesgo de erosión promedio de la microcuenca
REu	Riesgo de erosión de la unidad de paisaje
Su	Superficie de la unidad de paisaje

Ecuación Universal de Pérdida de Suelo (USLE)

Para la estimación de los riesgos de erosión, aplicando la USLE se considera que el terreno está continuamente en barbecho o desnudo y trabajado en sentido de la pendiente. Por lo tanto se considera que los factores cobertura y manejo (C) y de prácticas de conservación (P), tiene un valor de 1.

La ecuación básica puede expresarse como sigue:

$$A = R. K. L. S. C. P. \quad (4.3)$$

donde

A	Pérdida estimada de suelo por unidad de superficie para un periodo dado.
---	--

- R factor erosividad de la lluvia; número de unidades índice de erosividad (EI) para un período dado. El EI es la medida de la fuerza erosiva de una lluvia determinada.
- K factor erosionabilidad del suelo; tasa de erosión por unidad de índice de erosividad para un suelo determinado.
- L factor longitud de la pendiente
- S factor gradiente de la pendiente
- C factor de cobertura y manejo
- P factor prácticas de conservación de suelos

La USLE fue derivada en unidades inglesas americanas (USA), con posterior conversión a unidades métricas y al sistema internacional (SI). Solo los factores R y K tienen unidades y son derivadas, creadas especialmente con ese propósito

El riesgo de erosión hídrica se calculó con base en la siguiente expresión :

$$A' = R \cdot K \cdot L \cdot S \quad (4.4)$$

donde

A' Riesgo de erosión hídrica

En la Tabla 3 se indica la calificación de algunos factores de USLE, relacionados con riesgo de erosión hídrica.

Tabla 3. Clasificación de algunos factores de la USLE (Páez, 1989b)

Factor	muy bajo 1	bajo 2	mod. bajo 3	moderado 4	mod. alto 5	alto 6	muy alto 7	Extre. alto 8
R	<2000	2000-4000	4000-6000	6000-8000	8000-10000	10000-12000	12000-14000	>14000
K	<0,001	0,001-0,005	0,005-0,015	0,015-0,030	0,030-0,045	0,045-0,06	0,06-0,075	>0,075
s	<1	1-3	3-5	5-10	10-15	15-20	20-25	>25
A'	<12	12-25	25-50	50-100	100-150	150-200	200-300	>300

R Erosividad (Mj.mm/ha.h)

K Erosionabilidad (t.ha.h/Mj.mm.ha)

s Gradiente (%)

A' Riesgo de erosión (t/ha.año)

Factor erosividad de la lluvia (R).

El factor erosividad de la lluvia, llamado R o EI, es un índice numérico que expresa la capacidad de la lluvia para erosionar el suelo. Las conclusiones a que llegaron los técnicos del Servicio de Investigación Agrícola de los Estados Unidos, fue que cuando todos los

factores causantes de la erosión permanecen constantes, las pérdidas de suelos ocasionadas por los aguaceros en terrenos cultivados, son directamente proporcionales al valor del producto de la energía cinética total (E) por la máxima intensidad en 30 minutos (I_{30}) de duración de la lluvia.

Es así que el factor R se define como la suma del producto de la energía total de la precipitación por su máxima intensidad en 30 minutos (EI_{30}) para todos los eventos importantes de precipitación en un área durante un año promedio. (López, 1995)

En relación a este aspecto Wischmeier y Smith (1978), consideran que el término R en forma de producto EI , es el mejor parámetro de la precipitación que refleja la interacción entre el potencial combinado del impacto de las lluvias y la turbulencia del escurrimiento para transportar las partículas desprendidas. El factor (EI_{30}), se expresa en unidades inglesas como 10^2 ton-pie. Pulgada/acre.hora.

Foster et al., 1981 citado por López (1995), indica que las unidades de expresión en el sistema métrico para EI_{30} en Mj/ha. mm/h resultan más convenientes puesto que reduce la magnitud de los números y evita confusión.

En Venezuela se han realizado trabajos para caracterizar la erosividad de la lluvia. Páez (1980) citado por López (1995), obtuvo una ecuación cuadrática que relaciona la energía cinética de la lluvia con su intensidad.

Señala la mencionada autora, que a intensidades de lluvia mayores de 70 mm/h los valores de energía cinética calculada según la relación intensidad-energía obtenida en Venezuela son significativamente mayores que las obtenidas al utilizar la relación intensidad-energía típica de zonas de clima templado. De aquí que la subestimación en la predicción de pérdidas de suelo en que se incurre cuando se utilizan los valores de energía de la precipitación reportados para climas templados sea de una magnitud que puede afectar la conservación del suelo a corto y mediano plazo, cuando se usan valores así estimados para planificar el uso y manejo de las tierras (Páez y Rodríguez, 1985).

Dada la dificultad que se presenta en muchas localidades para la determinación del factor R, particularmente por la carencia de registros pluviográficos, muchos investigadores han tratado de establecer correlaciones entre el factor R y algún otro parámetro de la precipitación de fácil obtención.

La erosividad (R) se calculó a partir de las lecturas de las bandas de registro pluviográfico de la estación climatológica "Bailadores". Para el efecto se individualizaron en los pluviogramas los aguaceros erosivos. Se realizaron 97 lecturas de bandas pluviográficas desde el 02/10/87 a 23/11/92. Se considero erosiva una tormenta cuando alcanzó al menos 10 mm de precipitación. Las lluvias menores de 10 mm y que fueron separadas de otros eventos de precipitación por más de 6 horas, no fueron incluidas en los cálculos.

Para calcular el factor erosividad se utilizó la ecuación propuesta por Wischmeier y Smith (1978):

$$R = \sum_{j=1}^n (EI)_j \quad (4.5)$$

donde:

R	factor de erosividad (Mj.mm/ha.h)
E	energía total para un evento de lluvia (Mj/ha)
I	intensidad máxima de la precipitación en 30 minutos (mm/h)
n	número de años

El cálculo de la energía por unidad de lámina caída, fueron basados en la ecuación desarrollada por Foster, McCool, Renard y Modenhauer (1981) :

$$e = 0,119 + 0,0873 \log_{10} I, \quad (4.6)$$

donde:

e energía (j/m² /mm)

I Intensidad de la lluvia (mm/h).

La intensidad máxima en 30 minutos se calculó en relación a la duración de la lluvia por segmento.

El calculo del factor de erosividad (R) para un año, se obtuvo de la sumatoria de los El₃₀ mensuales. En el Apéndice 1 se indican los valores de El₃₀ mensuales .

En los meses que no existieron bandas pluviográficas, los valores de El₃₀ se estimaron aplicando una ecuación de correlación entre los valores obtenidos de El mensuales y los valores de precipitación mensual, método similar al utilizado por Páez (1989) y López (1994) para el cálculo de erosividad mensual en algunas localidades de Venezuela.

Finalmente la estimación de la erosividad (R) anual se obtuvo del promedio de R de un periodo de 6 años (1987-1992). El valor de erosividad obtenido, fue considerado como un valor único para la microcuenca.

Factor erosionabilidad del suelo (K).

Este factor evalúa la erosionabilidad del suelo, la cual se define como la susceptibilidad del suelo a la acción erosiva del agua (Páez 1989).

López (1995) indica que los cálculos originales del factor K fueron basados en medidas hechas en parcelas estándar, con un declive de 9% y 22,1 m de longitud, mantenidas bajo barbecho con labranza periódica en dirección de la pendiente.

Existen diversos métodos para la determinación de la erosionabilidad de los suelos, Gásperi (1982) señala los más utilizados: simuladores de lluvia, ecuación de regresión múltiple de Wischmeier y Mannering, parcelas de erosión "tipo estándar" y Nomograma de Wischmeier.

Barrios (1995), indica que en el método del Nomograma propuesto originalmente por Wischmeier y Smith (1978), para determinar el factor K de la USLE, se debe tener presente que fue desarrollado para tierras agrícolas con relativamente bajos niveles de materia orgánica, en comparación a los terrenos forestales.

Lal (1988), citado por López (1995), indica que la erosionabilidad del suelo estimada a través del nomograma, a menudo difiere de las mediciones en el campo, particularmente cuando se trata de Vertisoles, Andosoles y suelos con alto contenido de grava.

El factor de erosionabilidad del suelo puede ser también estimado a través de la siguiente ecuación desarrollada por Wischmeier, Johnson y Cross (1971):

$$100K = 2,1 \times 10^{-4} (12 - M) N^{1,14} + 3,25 (S - 2) + 2,5 (P - 3) \quad (4.7)$$

donde

- K factor erosionabilidad expresado en unidades del sistema ingles
 - M porcentaje de materia orgánica
 - S estructura codificada en el nomograma
 - P clase de permeabilidad codificada en el nomograma
 - N (% de limo + arena muy fina) x (100 - %arcilla)
- Para expresar en unidades métricas se debe multiplicar por 0,1317

Para calcular el factor de erosionabilidad (K) se utilizó el nomograma de erosionabilidad de Wischmeier et al.(1971), adaptado en unidades de sistema métrico por Troeh, Hobbs y Donahue (1980); Foster et al. (1981).

El nomograma requiere información de las siguientes propiedades del suelo:

- porcentaje de limo más arena muy fina (0,002 a 0,1 mm)
- porcentaje de arena fina a gruesa (0,1 a 0,2 mm)
- contenido de materia orgánica, en porcentaje
- estructura
- permeabilidad.

Las propiedades de suelo fueron analizadas de muestras de suelo, tomadas al azar en cada una de las unidades de paisaje de la microcuenca, con el uso del barreno a una profundidad del suelo promedio de 0,25 m.

Las muestras de suelo fueron enviadas al laboratorio FONAIAP para su respectivo análisis. La Tabla 4 indica los métodos empleados en el laboratorio.

Tabla 4. Métodos de análisis de suelo usados en laboratorio

Análisis	Métodos
Distribución de partículas	Bouyoucus
Fraccionamiento de arenas	Tamizado
Materia orgánica	Combustión húmeda de Walkley y Black

La estructura se describió directamente en campo de acuerdo a su forma, sean estas esferoides, blocosas, prismáticas o laminar.

La determinación de la permeabilidad se estimó a partir de la textura o distribución de partículas del suelo, por ejemplo un suelo arenoso, es un suelo con una permeabilidad rápida.

Factor topográfico (LS).

Este factor toma en cuenta el efecto acumulativo del escurrimiento, así como lo inclinado de la pendiente a medida que se hace mas largo el trayecto. El factor topográfico se calcula con base en la siguiente expresión, desarrollada por Wischemeier y Smith (1978) :

$$LS = (\lambda / 22,1)^m (0,006 s^2 + 0,0454 s + 0,065) \quad (4.8)$$

donde

- LS factor topográfico (adimensional)
- λ longitud promedio del flujo superficial en metros
- s pendiente expresada en porcentaje
- m exponente que varía de acuerdo a la siguiente relación :

$$\begin{aligned} m &= 0,5 & \text{para} & & s &\geq & 5\% \\ m &= 0,4 & \text{para} & & 5\% &> s &> 3\% \\ m &= 0,3 & \text{para} & & 3\% &\geq s &\geq 1\% \\ m &= 0,2 & \text{para} & & s &< & 1\% \end{aligned}$$

Subfactor longitud de la pendiente. En relación a la determinación de la longitud promedio del flujo superficial mucho es lo que se ha escrito y propuesto, lo cual indica que evaluarla constituye el punto crucial al cuantificar el factor topográfico (LS). Entre los métodos propuestos en la literatura están el Método de la Densidad de Drenaje y su modificación y el Método de los Puntos Extremos de Contorno (Barrios, 1985). La longitud de la pendiente se calcula en base a la siguiente expresión :

$$L = (\lambda / 22,1)^m \quad (4.9)$$

Subfactor inclinación de la pendiente. La expresión original de Wischemeier y Smith (1978) fue desarrollada experimentalmente con datos de terrenos uniformes, pendientes entre 3 y 18% y longitudes entre 10 y 100 m. La aplicación fuera de ese rango experimental es de carácter especulativo. Tal es el caso de las cuencas hidrográficas en donde las vertientes no son uniformes y frecuentemente tienen 40% o más de pendiente. La expresión original del subfactor s produce sobre-estimación significativa. La actualización de McCool, Brown, Foster, Mutchler y Meyer (1987) fue realizado teniendo en cuenta lo anterior y por eso es que se recomienda para cuencas hidrográficas en áreas montañosas. La expresión propuesta por McCool et al., (1987) es :

$$S = 10,8 \text{ Sen}\theta + 0,03 ; \text{ si } p < 9\% \quad (4.10)$$

$$S = 16,8 \text{ Sen}\theta - 0,5 ; \text{ si } p \geq 9\% \quad (4.11)$$

donde:

- S Subfactor inclinación de la pendiente (adimensional)
- θ Angulo de inclinación del terreno uniforme en grados
- p inclinación de la pendiente media (%)

Para evaluar el factor topográfico, se utilizaron los valores más representativos de las longitudes de la pendiente (λ) medidas en campo y los valores medios de la inclinación de la pendiente (s) de todas las unidades homogéneas de paisaje.

La longitud representativa de la pendiente se obtuvo con base en ocho mediciones por unidad de paisaje, medidas con cinta métrica, considerando las distancias entre el punto de origen de la escorrentía y el punto donde existe interferencia del flujo superficial.

Medición de la erosionabilidad del suelo en campo

La erosionabilidad del suelo se define como la vulnerabilidad del mismo a la acción erosiva del agua (López, 1995). Páez y Pla (1989) definen a la erosionabilidad como una propiedad intrínseca del suelo, que expresa la susceptibilidad del suelo a la erosión.

El propósito de la medición de la erosionabilidad en campo a través de parcelas de erosión con uso de lluvia simulada (riego por aspersión), es comparar el valor de erosionabilidad obtenido por el método del Nomograma de la USLE (Wischmeier y Smith, 1978) con el obtenido en campo.

Lal, 1988 citado por López (1995) manifiesta que la estimación de la erosionabilidad en el campo a menudo difiere con la erosionabilidad del suelo estimada a través del Nomograma.

Páez y Rodríguez (1985) obtuvieron valores de erosionabilidad de 0,0044 en un Mollisol que al comparar con el valor de 0,014 encontrado en el primer año de instalación de la parcela de erosión, permite ver la rápida degradación del suelo en condiciones tropicales.

Las parcelas de erosión pueden ser parcelas pequeñas, en las que generalmente se usa lluvia simulada. Se usan principalmente para estudiar procesos básicos de erosión. Aunque dichos simuladores de lluvia no reproducen exactamente las lluvias naturales, dan valores relativos de gran utilidad para comparar suelos y tratamientos (Pla, 1990).

De todas formas no hay que olvidar que tanto las parcelas de erosión pequeñas a medianas con lluvias naturales, como las ecuaciones predictivas empíricas tipo USLE, al igual que las parcelas con lluvia simulada, sirven fundamentalmente para la identificación de suelos, áreas y regiones con relativo gran potencial erosivo y para evaluar alternativa de práctica de manejo de suelos y cultivos para controlar la erosión y no tanto como pretenden erróneamente algunos, para determinar directamente pérdidas netas de suelo, ni para evaluar el impacto de la erosión sobre la productividad de los cultivos (Pla, 1991).

La erosionabilidad del suelo se evaluó en un suelo ubicado en una vertiente de la formación geológica Sierra Nevada a 2400 msnm, suelo perteneciente a la unidad homogénea de paisaje B₁.

El cálculo de K se realizó con base en la ecuación universal de pérdida de suelo (USLE), donde por simple despeje de la ecuación (4.3), se obtiene la siguiente ecuación :

$$K = \frac{A}{R.L.S.C.P} \quad (4.12)$$

Sobre un lote aproximadamente de 60 m² se instalaron 3 parcelas de erosión de 12m² cada una, 6 m de largo por 2 m de ancho, con separación de 0,5 m entre parcelas. Parcelas ubicadas en una pendiente del 60%, sin cobertura vegetal ni prácticas de conservación. Al interior de las parcelas se colocaron pipotes pequeños para recolectar el agua de "lluvia". Los aspersores se instalaron con separación de 5 m entre aspersores.

Luego del establecimiento de las parcelas se procedió hacer funcionar el sistema de riego por aspersión por el lapso de una hora, y luego de un intervalo de 15 minutos, por 50 minutos más.

A continuación se procedió a la observación y medición de la lámina caída, pérdida de suelo y escurrimiento, durante los intervalos de riego. La medición de la lámina de agua caída se realizó con una pipeta graduada, y se estimó el EI₃₀ del evento.

El total volumen de escurrimiento se determinó por medio de lecturas en un tanque de 200 litros, al pie de cada parcela. El total de sedimentos recolectados en el tanque fue determinado por la suma del peso de los sólidos depositados o sedimentados más el peso de los sólidos en suspensión recogidos del tanque.

Los valores de R y LS se calcularon siguiendo la metodología USLE. Los valores de C y P fueron 1. Los valores de K obtenidos en el campo, se compararon con el valor obtenido de erosionabilidad por el Nomograma.

Indice para evaluar riesgos de erosión hídrica (IRE)

El índice de riesgos de erosión hídrica (IRE) es un método numérico multiplicativo que permite estimar la susceptibilidad a la erosión hídrica. Es un método específico de estimación de riesgo de erosión hídrica, orientado a tierras con escasa información y dificultad para evaluar factores edáficos, climáticos y topográficos.

El Índice para evaluar riesgos de erosión hídrica (IRE) propuesto por Delgado (1996) toma en consideración tres parámetros fundamentales para evaluar la susceptibilidad de un sector montañoso a la erosión hídrica: las características hidrológicas del suelo, la agresividad de las lluvias y la pendiente del terreno. Cada uno de estos parámetros se evalúa en la escala 0-1, correspondiendo el valor uno (1) a la condición del parámetro que

más favorezca potencialmente la ocurrencia de procesos de erosión hídrica. En la Tabla 5 se indica la clasificación de los valores de IRE.

Tabla 5. Clasificación de los valores de IRE (Delgado, 1996)

IRE	Riesgo de erosión
< 10	Muy Bajo
10 - 20	Bajo
26 - 50	Moderado
51 - 75	Alto
76 - 100	Muy alto

La ecuación puede expresarse como:

$$\text{IRE} = (\alpha \times \beta \times \eta) \times 100 \quad (4.13)$$

donde:

- IRE Índice de riesgo de erosión (0-100)
- α parámetro que evalúa el potencial de escorrentía del suelo (0-1)
- β parámetro que evalúa la agresividad de la lluvia (0-1)
- η parámetro que evalúa la pendiente del terreno (0-1)

Potencial de escorrentía (α).

Este parámetro evalúa el potencial de escorrentía del suelo a través del tipo hidrológico. De acuerdo con este esquema, los suelos se clasifican en función de su potencial de escorrentía, en cuatro tipos principales:

Suelos tipo A .- (bajo potencial de escorrentía): Suelos con alta tasa de infiltración, aun cuando están muy húmedos. Suelos de textura gruesa, predominio de arenas o gravas profundas, bien o excesivamente drenados.

Suelos tipo B .- (moderado a bajo potencial de escorrentía): Suelos con tasas de infiltración moderadas cuando están húmedos. Suelos con predominio de texturas moderadamente finas a moderadamente gruesas; moderadamente profundos a profundos; moderadamente bien drenados a bien drenados.

Suelos tipo C .- (moderadamente alto potencial de escorrentía): Suelos con infiltración lenta cuando están húmedos. Texturas moderadamente finas a finas; moderadamente bien drenados a pobremente drenados.

Suelos tipo D .- (alto potencial de escorrentía): Suelos con infiltración muy lenta cuando están húmedos. Texturas finas a muy finas, arcillas con alto potencial de expansión; pobre a muy pobremente drenados.

Para determinar el potencial de escorrentia en los suelos, el método considera dos características de suelo estrechamente vinculadas a las cualidades hidrológicas: la

estructura y la granulometría. La primera incluye el desarrollo estructural y la segunda incluye la distribución de partículas finas y el esqueleto grueso. El valor del potencial de escorrentía se obtuvo de ecuaciones desarrolladas por Delgado (1996) y se presentan en la Tabla 6.

La estructura fue evaluada directamente en campo, con observaciones directas de muestras de suelo de acuerdo a su grado de desarrollo estructural o estabilidad de los agregados y su facilidad de separación, sean éstas débil, moderada y fuerte.

Tabla 6 . Ecuaciones para valores de potencial de escorrentía

Suelos tipo A : texturas arenosas (a), areno-francosas (aF) y franco-arenosas (Fa).	
Estructura débil.....	$\alpha = 0.7 - 0.002 (eg)$
estructura moderada.....	$\alpha = 0.7 - 0.0025 (eg)$
estructura fuerte.....	$\alpha = 0.7 - 0.003 (eg)$
Suelos tipo B : texturas francas (F), franco-arcillosas (FA) y franco-arcillo-arenosas (FAa).	
Estructura débil.....	$\alpha = 0.8 - 0.0015 (eg)$
estructura moderada.....	$\alpha = 0.8 - 0.002 (eg)$
estructura fuerte.....	$\alpha = 0.8 - 0.0025 (eg)$
Suelos tipo C : texturas limosas (L), franco-limosas (FL) y arcillo-arenosas (Aa).	
Estructura débil.....	$\alpha = 0.9 - 0.001 (eg)$
estructura moderada	$\alpha = 0.9 - 0.0015 (eg)$
estructura fuerte.....	$\alpha = 0.9 - 0.002 (eg)$
Suelos tipo D: texturas arcillosas (A), arcillo-limosas (AL) y franco-arcillo-limosas	
estructura débil.....	$\alpha = 1 - 0.0005 (eg)$
estructura moderada.....	$\alpha = 1 - 0.001 (eg)$
estructura fuerte	$\alpha = 1 - 0.0015 (eg)$

donde

- α valor del parámetro que evalúa el tipo hidrológico de suelo (0-1)
- eg esqueleto grueso del suelo (% en volumen)

El esqueleto grueso del suelo expresa todo material mayor a 2mm de diámetro. El cálculo del porcentaje de esqueleto grueso se realizó de la manera siguiente :

En sitios seleccionados al azar en las diferentes unidades de paisaje, se excavaron hoyos en el suelo donde se pesaron con balanza manual los materiales gruesos presentes en ellos.

El volumen del esqueleto grueso en porcentaje (%) se calculó en relación al volumen ocupado por el material en cm^3 y volumen del hoyo. El volumen del esqueleto grueso en cm^3 se calcula en relación al peso y densidad aparente del material. La densidad aparente disminuye de 2,65 a 2,0 gr/cm^3 con incremento en la meteorización y desarrollo del espacio poroso (Andrade, 1974).

Los fragmentos gruesos constituyen una alta proporción de fragmentos rocosos, pocos meteorizados y de altos porcentajes de cuarzo (Castillo, 1975); el valor de la densidad aparente para este estudio se consideró 2,65 gr/ cm³. Por ejemplo:

$$\begin{aligned}\text{Volumen del hoyo} &= 9000 \text{ cm}^3 \\ \text{Peso de e.g} &= 1050 \text{ gr} \\ \delta \text{ de e.g} &= 2,65 \text{ gr/ cm}^3 \\ \text{Volumen de e.g} &= ?\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\text{Ve.g} &= m/\delta \\ \text{Ve.g} &= 396,2 \text{ cm}^3 \\ \text{Ve.g} &= 4,4\%\end{aligned}\tag{4.14}$$

donde :

Ve.g Volumen del esqueleto grueso
m Masa o peso del esqueleto grueso
 δ Densidad aparente promedio de esqueleto grueso (cuarzo)

Agresividad de la lluvia (β)

Este parámetro evalúa la agresividad climática relativa de las precipitaciones, a través del Índice de Fournier (1960), citado por Delgado (1996). El Índice de Fournier es un indicador del grado en que se concentran las precipitaciones de un área durante cierta época del año en relación a la precipitación total anual de la misma. Se determina mediante la siguiente ecuación:

$$F = p^2 / P\tag{4.15}$$

donde:

F índice de Fournier
p precipitación media mensual del mes más lluvioso del año (mm)
P precipitación media anual (mm)

Con los datos de precipitación que se indican en el Apéndice i, se calculó la precipitación media anual. El valor de β se obtuvo a partir de las siguientes ecuaciones (Delgado, 1996)

$$\beta = 0.35 + 0.01 (F) \quad \text{si } F \leq 65\tag{4.16}$$

$$\beta = 1.00 \quad \text{si } F > 65\tag{4.17}$$

donde:

β agresividad de la lluvia
F Índice de Fournier

Pendiente del terreno (η)

Este parámetro evalúa la incidencia del factor topográfico. El valor del parámetro se determina a través de la pendiente del terreno, expresada en %. El valor de η se obtiene a partir de las siguientes ecuaciones (Delgado, 1996):

$$\eta = 0.45 + 0.0075 (m) ; \quad \text{si } m \leq 75 \% \quad (4.18)$$

$$\eta = 1 ; \quad \text{si } m > 75 \% \quad (4.19)$$

donde:

η pendiente del terreno
 m pendiente del terreno (%)

La evaluación de la pendiente del terreno, se realizó con los valores promedio de las clases de pendiente estimadas para cada unidad de paisaje.

Estimación de erosión actual

La erosión actual es la pérdida de suelo bajo condiciones de uso actual del suelo. La erosión actual está en función del efecto combinado de todos aquellos factores que influyen sobre la erosión: clima, topografía, tipo de suelo, **uso de la tierra y prácticas de conservación**. (Páez, 1989). La erosión actual se estimó aplicando la Ecuación Universal de Pérdida de Suelos (USLE)

Ecuación Universal de Pérdida de Suelos (USLE)

En su concepción original, la Ecuación Universal de Pérdida de Suelo (USLE) es un modelo que permite estimar la erosión anual promedio a largo plazo para combinaciones específicas de condiciones físicas y manejo de las tierras (López, 1990).

La ecuación desarrollada por Wischmeier y Smith (1978) calcula la pérdida de suelo como el producto de seis (6) factores principales. Los factores que se aplicaron para su evaluación fueron: erosividad de la lluvia (R), erosionabilidad del suelo (K), factor longitud de la pendiente (L), inclinación de la pendiente (S), cobertura y manejo (C) y factor prácticas de conservación (P).

Para la estimación de la erosión actual el procedimiento fue el siguiente:

- Evaluación en cada unidad de paisaje de los factores de la USLE.
- Cálculo de la erosión de acuerdo al uso actual del suelo, mediante la ecuación universal de pérdida de suelos:

$$Aua = R \cdot K \cdot LS \cdot CPua \quad (4.20)$$

donde:

Aua Erosión bajo uso actual en t/ha-año
 R factor erosividad de la lluvia en Mj.mm./ha.h.año

K factor erosionabilidad del suelo en t.ha.h/ha.Mj.mm
 LS factor topográfico del terreno
 CPua factores cobertura, manejo de cultivos y prácticas de conservación bajo uso actual

- Cálculo de la erosión de uso actual según la superficie ocupada

$$A_{sua} = \sum A_{ua} \cdot S_{ua} \quad (4.21)$$

donde:

A_{sua} Erosión bajo uso actual en t/año
 S_{ua} Superficie del uso actual en ha

La superficie de los usos actuales de la tierra fueron determinados con base en la sobreposición del mapa de unidades de paisaje con el mapa de uso actual. Las mediciones se efectuaron con un planímetro.

- Cálculo de erosión actual promedio ponderado para cada unidad de paisaje, de acuerdo a la siguiente ecuación :

$$A_p = \frac{\sum A_{ua} \cdot S_{ua}}{\sum S_{ua}} \quad (4.22)$$

donde:

A_p Erosión promedio de la unidad de paisaje en t/ha-año
 S_{ua} Superficie del uso actual en ha

- Cálculo de la erosión actual promedio ponderado para la microcuenca total, de acuerdo a la siguiente ecuación :

$$A_{mc} = \frac{\sum A_p \cdot S_p}{\sum S_p} \quad (4.23)$$

donde:

A_{mc} Erosión promedio de la microcuenca en t/ha-año
 S_p Superficie de la unidad de paisaje en ha

Como los factores de erosividad de la lluvia (R), erosionabilidad del suelo (K) y factor topográfico (LS) fueron evaluados en la estimación de riesgos de erosión, la evaluación de los factores cobertura y manejo y prácticas de conservación se describen a continuación :

Factor de cobertura y manejo (C).

El factor de cobertura y manejo (C) indica el efecto de la cubierta vegetal en la pérdida del suelo. Los valores de C son pequeños cuando el suelo está protegido del impacto del

agua de lluvia y de la acción de la escorrentía superficial, y viceversa. Lo primero depende del grado de cobertura que tenga el dosel y de la cubierta existente sobre la superficie del terreno. Lo segundo está más relacionado con la cubierta del suelo.

La determinación del factor C se hace a partir de valores tabulados según se trate de cultivos agrícolas o vegetación forestal. Wischmeier y Smith (1978) publican numerosas tablas del factor C por tipos de cultivos, etapa de desarrollo y sistemas de manejo.

Para el **factor C en tierras forestales**, Dissmeyer y Foster (1982) proponen la evaluación con base en nueve subfactores que se le asocian:

- Superficie de suelo desnudo
- Cobertura del follaje
- Reconsolidación del suelo
- Contenido de materia orgánica
- Cantidad de raíces finas
- Efecto residual de la labranza
- Almacenamiento por depresiones en el terreno
- Escalonamiento de la pendiente
- Contornos de la labranza

De esta manera el factor C, para una condición dada, se obtiene como resultado del producto de los subfactores considerados. No obstante, por limitaciones de información para la aplicación de dicha metodología, se puede considerar un número más reducido (lo mínimo son tres), siendo relativamente práctico incluir los cinco primeros subfactores:

López (1995) indica que el **factor C para un cultivo** en particular se obtiene del promedio de los cinco valores parciales correspondientes a los cinco diferentes períodos del ciclo del cultivo para un año. Generalmente se calcula un C ponderado para una rotación de cultivos que se alteran sobre varios años.

Donahue et al. (1983) citado por López (1995), manifiesta que el factor C, se considera un factor muy complicado a causa del amplio rango de posibilidades en cuanto a cobertura protectora, manejo y las diversas formas en las cuales los residuos de los cultivos pueden ser dejados sobre el suelo.

Gásperi (1982) opina que utilizar y/o adaptar información tan refinada a nuestras circunstancias no incrementaría la precisión de los resultados a obtener, sino que complicaría en cierto grado la aplicabilidad inmediata de la USLE, por lo cual sugiere, a corto plazo, utilizar los valores de C que han sido producidos en condiciones tropicales o aquellos provenientes de EE.UU., cuya naturaleza facilite su aplicación al caso bajo estudio. A mediano y largo plazo, el mismo autor sugiere la realización de investigaciones que permitan obtener valores de C para las condiciones particulares del medio.

Para el cálculo de cobertura y manejo, se consideraron cuatro usos que fueron lo más representativos de la microcuenca: bosques, pastos, páramo y uso agrícola, representado por el sistema de producción de cultivos.

Para el calculo de los valores de C para bosques, pastos y pastizales se utilizo el método propuesto por Dissmeyer y Foster (1982). En el Apéndice 3 se presentan los subfactores de evaluación del factor C.

La evaluación de estos subfactores, se realizó directamente en el campo, en diferentes puntos designados al azar, tanto en bosques, pastos como en páramo. Para el cálculo del factor C, primeramente se determinó un valor inicial de C del efecto del suelo desnudo, matriz de raíces finas de los árboles y reconsolidación del suelo, este valor se multiplicó por el valor del subfactor cobertura de dosel, resultado a su vez se multiplicó por 0,7 en las unidades donde la presencia de materia orgánica es alta.

La evaluación del factor C para cultivos, se calculó de acuerdo al siguiente procedimiento:

- Con base en los valores del factor de erosividad de la lluvia (R), se realizó una curva acumulada de erosividad promedio (1987-1992), a fin de conocer la distribución de R anual.
- Se seleccionaron dos cultivos : papa y zanahoria, debido a que fueron lo más representativos de la microcuenca. El valor promedio de C de la papa fue de 0,58 (López, 1995) y de la zanahoria fue de 0,36 (Fernández, 1986).
- Se determinaron valores de C ajustados para cada cultivo de acuerdo a la distribución del factor R. El factor C ajustado es el producto del valor del factor R correspondiente a la etapa de desarrollo del cultivo y el valor de C promedio del cultivo.
- Se calculó el C promedio para la rotación, de acuerdo a la siguiente ecuación :

$$C = \frac{\sum_i C_i}{\sum_i R_i} \quad (4.24)$$

donde:

C	factor C promedio para la rotación
R _i	fracción de "R" correspondiente al período
C _i	factor C ajustado para el cultivo

Factor practicas de conservación (P).

El factor P tiene un valor máximo de 1 el cual tiende a ser reducido por prácticas de conservación especiales, dentro de las cuales las más comunes en áreas cultivadas son: cultivos en contorno y cultivo en fajas (López, 1995).

Las prácticas conservacionistas que afectan al factor P actúan en la retención de sedimentos, facilitan la infiltración del agua en el suelo y por lo tanto disminuyen el escurrimiento; también pueden actuar facilitando la evacuación de excedentes que pudieran generar escorrentía.

El valor de Prácticas de conservación fue uno ($P = 1$), ya que no existen prácticas de conservación en la zona.

Métodos de planificación conservacionista

Para la determinación de manejo y prácticas de conservación de suelos, se utilizaron los siguientes métodos de planificación conservacionista: el criterio de "CP" máximo de la Ecuación Universal de Pérdida de Suelos (Wischmeier y Smith, 1978) el Índice de Uso y Manejo de los suelos de ladera (Gómez, 1975) y el método de clasificación de tierras montañosas (Sheng, 1972).

Criterio de "CP" máximo de la Ecuación Universal de Pérdida de suelos

Como la USLE es una relación multiplicativa, el uso y manejo requerido por unidades de tierra particulares, para lograr el objetivo de la conservación de mantener la capacidad productiva en forma sostenida en el tiempo (tolerancia), se deriva de dividir la tolerancia entre el producto $RKLS$, el resultado es el valor máximo que puede tener el factor CP, por lo que refleja los requerimientos de uso y manejo.

El CP máximo, interpreta el riesgo de perder la capacidad productiva del suelo, por la disminución de la profundidad efectiva debido a la erosión hídrica, considerando solamente la interacción de los factores físicos de la tierra: clima, topografía y propiedades del suelo.

Las pérdidas de suelo tolerables (T) definidas como la máxima tasa de pérdidas de suelo anual que puede ocurrir y aun permitir obtener un alto nivel de productividad económica (Páez y Rodríguez, 1989). Mannering (1981), basándose en numerosos estudios sobre tolerancia de pérdidas de suelo en diferentes países, presenta valores de ésta en función de la profundidad efectiva del suelo.

Para calcular los valores de CPmax. Se utiliza la siguiente ecuación:

$$CP_{max.} = \frac{T}{R.K.LS} \quad (4.25)$$

donde:

T	Tolerancia en t/ha-año
R	factor de erosividad de la lluvia (Mj.mm/ha.h)
K	factor de erosionabilidad del suelo (Mg.ha.h/Mj.mm.ha)
LS	factor topográfico del terreno

Con base en los valores presentados por Mannering (1981) en la Tabla 7, la Tolerancia (T) se calculó en función de los valores promedio de profundidad efectiva del suelo en las diferentes unidades de paisaje.

Tabla 7. Tolerancia (T) en función de la profundidad efectiva (Mannering, 1981)

Tolerancia (t/ha/año)	Profundidad (cm)
< 4	< 25
4 - 8	25 - 50
8 - 12	50 - 100
12 - 16	100 - 150
> 20	> 200

Los requerimientos de manejo y prácticas de conservación de suelos en las unidades de paisaje se determinaron de acuerdo al sistema de clasificación por riesgos de erosión propuesto por Páez y Rodríguez (1989) que se indica en la Tabla 8.

Tabla 8. Sistema de clasificación de riesgos de erosión (Páez y Rodríguez, 1989b)

Clase de capacidad	Valores Factor CP de la USLE	Requerimiento de Manejo
Ie`	1 - 0,3 (muy pequeño riesgo de erosión)	Puede manejarse continuamente con cultivos mecanizables de ciclo corto, sin ninguna práctica (P = 1).
Ile`	0,3 - 0,15 (Moderado riesgo de erosión)	La utilización continua de cultivos mecanizables de ciclo corto debe ir acompañada de prácticas sencillas de conservación, como la labranza en contorno o labranza reducida. En el caso de rotaciones éstas serán de corta duración (relación cultivo limpio-pasto de 5 :1).
IIle`	0,15 - 0,05 (Alto riesgo de erosión)	La agricultura intensiva requiere de labranza reducida con altas tasas de residuo. Las rotaciones son de mediana duración (relación cultivo-pasto 1 :1). Franjas permanentes de cultivo y pasto.
IVe y Ve`	0,05 - 0,01 (Severo riesgo de erosión)	La utilización de cultivos de ciclo corto mecanizables es muy restringida requiriendo de prácticas de conservación intensivas. Labranza en contorno, labranza reducida con muy altas tasas de residuo, rotación de muy larga duración (relación 1 :3), franjas permanentes de cultivo y pasto con longitudes de franja muy cortos (de 10m) y/o en rotación con pastos.
Vle`	0,01 - 0,005 (Muy severo riesgo de erosión, gr. 1)	Severas limitaciones para cultivos agronómicos pero posibles de aprovechar con pastos bien manejados.
Vlle`	0,005 - 0,001 (Muy severo riesgo de erosión, gr 2)	Uso restringido a pastos muy densos y bosques, con altos requerimientos de manejo.
Vllle`	0,001 (Muy severo riesgo de erosión, gr. 3)	Uso de bosques de protección vida silvestre, recreación y preservación de cuencas.

Sistema de Índice de Uso y Manejo (IUM)

Gómez (1975) desarrolló un sistema cualitativo de orientación para la determinación del uso y manejo de los suelos de ladera a través de tablas explicativas, que se apoya en la ecuación universal de erosión e integra los factores activos como agresividad de la lluvia, pasivos como la susceptibilidad del suelo a la erosión y temperantes que influyen en la erosión y productividad de los suelos. El sistema se basa en :

- La determinación de la agresividad de la lluvia, evaluada por el índice Fournier.
- La susceptibilidad del suelo a la erosión, teniendo en cuenta el desarrollo, grado y estabilidad de la estructura, uniformidad, profundidad y permeabilidad del suelo.
- La desprotección que ofrecen al suelo los diferentes grupos de cultivos, en función de la cobertura vegetal que forman y el tipo de labores que requieren.
- La determinación de un índice de uso y manejo (IUM).

Pruebas preliminares realizadas en Colombia por Cenicafé en las secciones de conservación de suelos y Agroclimatología indicaron que el periodo de tiempo más apropiado para calcular la agresividad de la lluvia con este objetivo era de 10 días. Los valores anuales se obtienen los índices decadales de cada año.

El IUM orienta, en principio, sobre la vocación del suelo en función del índice potencial de erosión y la desprotección del grupo de cultivo. Gómez (1975) presenta una lista de prácticas de conservación de suelos de diferentes grupos de cultivo en relación al IUM en la Tabla 9.

Tabla 9. Determinación y prácticas de conservación de los grupos de cultivo según el IUM (Gómez, 1975)

I.U.M.	LIMPIOS 20%	SEMILIMPI O 40%	SEMIBOSQUE 40%	DENSOS 50%	PASTOS 60%	BOSQUES cualquier pend.
0 - 20	Localización y contorno		Contorno, cobertura, machete	Contorno	Rotación de potreros	SOTOBOSQUE
20 - 40	+ Barreras vivas		+ Sombrío	+ Mulch	Rotación de potreros	MULCH
40 - 50	+ Acequias de ladera		+ Desvío de aguas	+ Mulch	Rotación de potreros	CANALIZACION DE AGUAS
50 - 70			+ Barreras vivas	+ Cobertura	+ Pastos de corte	VEGETACION NATIVA EN ZONAS DE
70 - 90	EN ESTA AREA LOS INDICES SON		+ Canalización de aguas	+ Desvío de aguas	+ Desvío de aguas	SOLIFLUXION
> 90	LIMITANTES PARA LOS GRUPOS DE CULTIVOS CORRESPONDIENTES				Sólo pastos de corte	Y ORILLAS DE CAUCES

El Índice de uso y manejo de los suelos se calcula con base en la siguiente expresión, desarrollada por Gómez (1975) :

$$IUM = IPE \cdot GC \quad (4.26)$$

donde

IUM índice de uso y manejo
IPE Índice potencial de erosión
GC Grado de cobertura vegetal y exigencia de labores

Índice potencial de erosión (IPE).

El índice potencial de erosión está en función de la agresividad de la lluvia y la susceptibilidad del suelo a la erosión. Gómez (1975) presenta una descripción de los grados de potencial de erosión de acuerdo a las características de la Tabla 10

Tabla 10. Calificación del índice potencial de erosión

Grado	Índice potencial de erosión (IPE = A x S) Descripción
Menor de 5,00	MUY BAJO En suelos expuestos se presentan ligeras salpicaduras y chapoteos del suelo.
5,00 a 10,00	BAJO En suelos expuestos se nota las salpicaduras y chapoteos del suelo, erosión laminar
10,00 a 15,00	MEDIO En suelos expuestos hay disgregación de las partículas de suelo, fuerte chapoteo y formación de surquillos
15,00 a 20,00	ALTO En suelos expuestos se presenta abundante dispersión de los agregados del suelo y gran cantidad de surquillos, surcos y cárcavas. Se presentan remociones de suelo.
Mayor de 20,00	MUY ALTO En suelos expuestos se presentan desprendimientos y remociones abundantes de suelo, surcos y cárcavas medias a profundas.

El índice potencial de erosión se obtuvo multiplicando los valores de la agresividad de la lluvia por la susceptibilidad del suelo a la erosión:

$$IPE = A \cdot S \quad (4.27)$$

donde:

A Agresividad de la lluvia
S Susceptibilidad del suelo a la erosión

Agresividad de la lluvia (A). La agresividad de la lluvia se determinó mediante el Índice de Fournier. Este índice se define como la relación entre el cuadrado de la precipitación máxima (diaria, mensual, anual), expresada en mm, ocurrida en la unidad de un periodo dado de tiempo y la precipitación total en este mismo periodo.

El índice decadal de Fournier se obtiene de la siguiente expresión :

$$F = \sum p^2 / P \quad (4.28)$$

donde:

F Índice de Fournier
 p^2 precipitación del día de máxima pluviosidad
P precipitación media decadal (10 días)

El cálculo del índice de Fournier se realizó de acuerdo a la metodología del Centro Nacional de Investigaciones del Café (CENICAFE), 1975 citado por Rondon, Aguilar y Ponte (1985), a partir de los datos de precipitación. La suma de los valores de p^2/P hallados cada diez días (decadales) permite obtener un Índice anual; Índice que se divide por 100 para obtener el grado de agresividad de la lluvia de acuerdo a la descripción de la Tabla 11.

Tabla 11. Calificación del índice de erosión pluvial de Fournier. Agresividad de la lluvia.

F2*	A**	GRADO	CARACTERISITICAS DE LA PRECIPITACION
< 200	< 2,00	Leve	Lluvias leves, frecuentes, bien distribuidas.
200 - 300	2,00 - 3,00	Baja	Lluvias de baja intensidad, frecuentes bien distribuidas.
301 - 400	3,01 - 4,00	Media	Lluvias de mediana intensidad, frecuentes, de buena o regular distribución.
401 - 500	4,01 - 5,00	Alta	Lluvias fuertes, frecuentes o no, de buena a mala distribución.
> 500	> 5,00	Muy alta	Lluvias fuertes a muy fuertes, frecuentes o no, de buena a mala distribución.

F2 = calculado con base en valores decadales

A = F2/100

Susceptibilidad del suelo a la erosión (S). Este factor se basa en las condiciones físicas heredadas del suelo a partir del respectivo material de origen de la unidad de capacidad; grado de la estructura, estabilidad, contenido de materia orgánica y agentes cementantes, profundidad y uniformidad del suelo y régimen de permeabilidad. Las características del suelo, como estructura, materia orgánica, profundidad, fueron analizados anteriormente; la permeabilidad se relacionó con la textura y estabilidad de los suelos. En la Tabla 12 se indica la calificación de la susceptibilidad a la erosión.

Tabla 12. Grado de calificación de la susceptibilidad de los suelos a la erosión (S).

Grado	Calificación
1,0	MUY RESISTENTE Estructura fuerte, muy estable, abundante contenido de materia orgánica y agentes cementantes. Suelos uniformes y profundos con permeabilidad moderada.
2,0	RESISTENTE Estructura moderada, estable, alto contenido de materia orgánica y agentes cementantes. Suelos uniformes y profundos con permeabilidad moderada.
3,0	MEDIANAMENTE RESISTENTE Estructura moderada, medianamente estable, de mediano contenido de materia orgánica y agentes cementantes. Suelos uniformes o medianamente uniformes, profundos o medios.
4,0	SUSCEPTIBLE Estructura débil o sin estructura, de baja estabilidad, contenido medio de materia orgánica. Suelos de mediana a baja uniformidad, mediana profundidad a baja.
5,0	MUY SUSCEPTIBLE Estructura débil o sin estructura, muy bajo contenido de materia orgánica. Suelos de baja uniformidad, mediana a baja profundidad con permeabilidad muy rápida o muy lenta.

Grado de desprotección de los grupos de cultivo (GC).

Cada grupo de cultivos, de acuerdo a la exigencia de labores culturales a la cobertura vegetal que forma, tiene un determinado grado de desprotección. Para saber el grado de desprotección del cultivo a establecer se analiza en que grupo podría clasificarse. En el Tabla 13 se indica los grados de desprotección (GC) de algunos grupos de cultivo.

Tabla 13. Calificación del grado de desprotección de los grupos de cultivos (GC)
(Gómez, 1975).

Grado	Descripción
1,0	Bosques comerciales y proteccionistas
1,0 a 1,5	Pastos
1,5 a 2,0	Cultivos densos ((Caña, pastos de corte, etc.)
2,0 a 3,0	Cultivos de semibosque ((Café y cacao con sombrío, etc.) Cultivos peremnes y semilimpios al sol ya establecidos y con cobertura
3,0 a 4,0	Cultivos semilimpios (Plátanos, frutales, etc., con desyerbas drásticas Cultivos peremnes al sol en establecimiento
4,0 a 5,0	Cultivos limpios (Hortalizas, maíz, piña, caraota, yuca, etc.)

El grado de desprotección de los cultivos (GC), se evaluó considerando los usos actuales de la tierra en cada una de las unidades de la microcuenca y se designó el grado correspondiente a cada uno de los usos actuales.

Clasificación de la capacidad de las tierras montañosas tropicales

La situación de las cuencas hidrográficas de cada país es única, siendo imposible dar unas técnicas de estudio detalladas que sean aplicables a todos los casos; sin embargo, en cuencas de montaña, en muchos países en desarrollo, se ha empleado con éxito a partir de los años 70 una clasificación de tierras por capacidad, que constituye la base para su uso apropiado (FAO, 1992).

La clasificación de tierras por su capacidad desarrollada por Sheng (1972) es un modelo especialmente orientado al tratamiento de cuencas hidrográficas de montaña. El modelo sirve para desarrollar un mapa de capacidad de las tierras y clasificar las cuencas hidrográficas de cabecera con pendientes acusadas, con condiciones climáticas homogéneas.

Las tierras se clasifican por su máximo laboreo o uso intensivo. Hay cuatro clases principales: terreno cultivable, pastos, árboles productores de alimentos y bosque. El modelo de clasificación se indican en la Tabla 14.

Sólo los terrenos cultivables tienen cuatro subclases, cada una de ellas con condicionantes en cuanto a los necesarios tratamientos de conservación y a las herramientas a emplear. Se favorecen los usos acordes con su clase de capacidad, o dentro de ella, mientras que se desalientan los usos que sobrepasan la clase de capacidad.

Tabla 14. Modelo de clasificación de la capacidad de las tierras montañosas

Pendiente (%)	Suave < 10	Moder. 10 - 30	Fuerte 30 -40	Muy Fuerte 40 - 50	Acusada 50 - 60	Muy acusada >60
Profund.del suelo (cm)						
Profundo >90	C ₁	C ₁	C ₃	C ₄	AF	F
Moderad. Profundo 50 - 90	C ₁	C ₂	C ₃	C ₄ / P	AF/ F	F
Poco profundo 20 - 50	C ₁	C ₂ / P	C ₃ / P	P	F	F
Muy poco profundo < 20	C ₁ / P	P	P	P	F	F

Fuente : FAO (1992)

Clases de tierra

Cultivos anuales

- C₁: Tierra cultivable con medidas ligeras de conservación. Mecanización posible
- C₂: Tierra cultivable con medidas moderadas de conservación. Mecanización posible con equipos especiales.
- C₃: Tierra cultivable a mano, con medidas intensivas de conservación.
- C₄: Tierra cultivable a mano, con medidas muy intensivas de conservación.

Cultivos permanentes

- P : Pastizales mejorados y manejados.
- AF : Árboles frutales, con prácticas intensivas de conservación.
- F : Protección. Vegetación densa. Explotación forestal o cultivos permanentes, con prácticas muy intensivas de conservación.

Las características y el empleo de esta clasificación se describe brevemente :(FAO, 1992) :

- Se clasifican las tierras atendiendo a dos factores principales : pendiente y profundidad del suelo. Estos factores se puede medir u observar en el terreno y el proceso y los resultados de la clasificación lo pueden entender fácilmente los técnicos y agricultores.

- Cada clasificación se acompaña con las necesidades de tratamiento de las tierras. Una parcela que no puede ser tratada con las medidas de conservación prescritas, no debe emplearse para cultivo o para trabajos de huerta.
- Las tierras se clasifican por el uso permisible de carácter intensivo. Se puede un uso menos intensivo pero no más intensivo.
- La clasificación la puede aprender y aplicar con rapidez personal semiespecializado, para encontrar tierras aptas para cultivo, huertos, pastos o bosques, al nivel de una cuenca hidrográfica ya sea para reordenar el uso de las tierras, para colonización o para fines de desarrollo. Se puede aplicar también con rapidez a nivel de finca.

La clasificación de la capacidad de las tierras se realizó con base en el mapa de capacidad de uso. El desarrollo de este mapa requiere la elaboración de los mapas de pendiente del terreno y profundidad del suelo. En la división de la microcuenca hidrográfica en unidades homogéneas de paisaje, se elaboraron los mapas de pendiente y profundidad

Por lo tanto, el procedimiento para elaborar el mapa de capacidad de uso fue el siguiente :

- En una mesa de luz, se colocó el mapa de pendiente.
- Se colocó sobre el mapa de pendientes el mapa de profundidad.
- Se superpuso otra hoja transparente para elaborar el mapa de capacidad de tierras.
- Se utilizó el modelo de clasificación para designar el símbolo para el laboreo o usos.

Una vez clasificada la microcuenca y presentada en un mapa de capacidad de uso, se definieron las prácticas conservacionistas con base en la Tabla 15.

Tabla 15. Prácticas conservacionistas de acuerdo a la capacidad de uso

Denominación de la práctica	Unidades	Capacidad de uso
Agronómicas		
Acordonamiento material inerte	m	C ₃ - C ₄
Barreras vegetativas	m ²	C ₁ - C ₂ - C ₃ - C ₄
Cultivos en curvas de nivel	ha	C ₁ - C ₂ - C ₃ - C ₄
Cultivos en fajas	ha	C ₁ - C ₂ - C ₃ - C ₄
Rotación de cultivos		
Cortinas rompevientos	m	C ₁ - C ₂ - C ₃ - C ₄ - P
Forestales		
Construcción cercas de protección		
Plantación (frutales)	#	AF
Plantación (frutales)	#	AF - F
Mecánicas		
Construcción de canales	m ³	C ₃ - C ₄ - P - AF - F
Construcción de muros de piedra	m ³	C ₃ - C ₄ - P
Construcción de zanjas de ladera	m ³	C ₃ - AF
Terrazas individuales	#	 AF - F
Estabilización de taludes	m ²	C ₄ - P - AF - F
Acordonamiento de piedras en curvas de nivel	m	C ₂ - C ₃
Terrazas de base ancha	m ²	C ₁ - C ₂

Fuente : Sheng 1972, citado por Delgado (1995)

CAPITULO V

RESULTADOS Y DISCUSION

En este capítulo se presenta un análisis de los resultados obtenidos en el desarrollo de las fases y métodos aplicados para estimar riesgos de erosión, erosión actual y planificación conservacionista. La Figura 3 muestra el mapa base de la microcuenca estudiada.

Diagnóstico general del problema erosivo de la microcuenca

La microcuenca Zarzales-La Grande tiene una extensión aproximada de 2491 ha y su estado general es relativamente visible en muchos sectores de la zona. Los sectores dedicados a la agricultura son los que tienen mayores problemas de erosión, aunque existen zonas que presentan otros tipos de erosión como movimientos de masa.

El suelo erosionado va a ser depositado en las quebradas que existen en la microcuenca y éstos a su vez en el río Zarzales, ocasionando un problema ambiental para la zona.

Los tipos de erosión que existen en la microcuenca son :

- Esgurrimiento difuso
- Esgurrimiento laminar
- Esgurrimiento en surcos
- Movimientos de masa

Erosión por escurrimiento difuso

Este tipo de erosión se presenta como surquillos temporales con desplazamientos menores de partículas de suelo y es visible en terrenos que se encuentran en periodos cortos de descanso, pero a los primeros días de la siembras sus surcos son rápidamente borrados por las herramientas de labranza.

En los sectores donde se realiza actividades agrícolas como Marmolejo, Río Arriba y Escalá existe este tipo de erosión. Además en algunos sectores con pendientes bien pronunciadas, donde existen pastizales con poca cobertura vegetal, también se puede observar este tipo de erosión. La extensión aproximada afectada por la erosión difusa es de 18 ha.

Erosión por escurrimiento laminar

Este tipo de erosión ocurre principalmente en las vertientes y en los suelos de origen aluvial en menor escala. La erosión laminar se puede observar prácticamente en todos los sectores de la microcuenca.

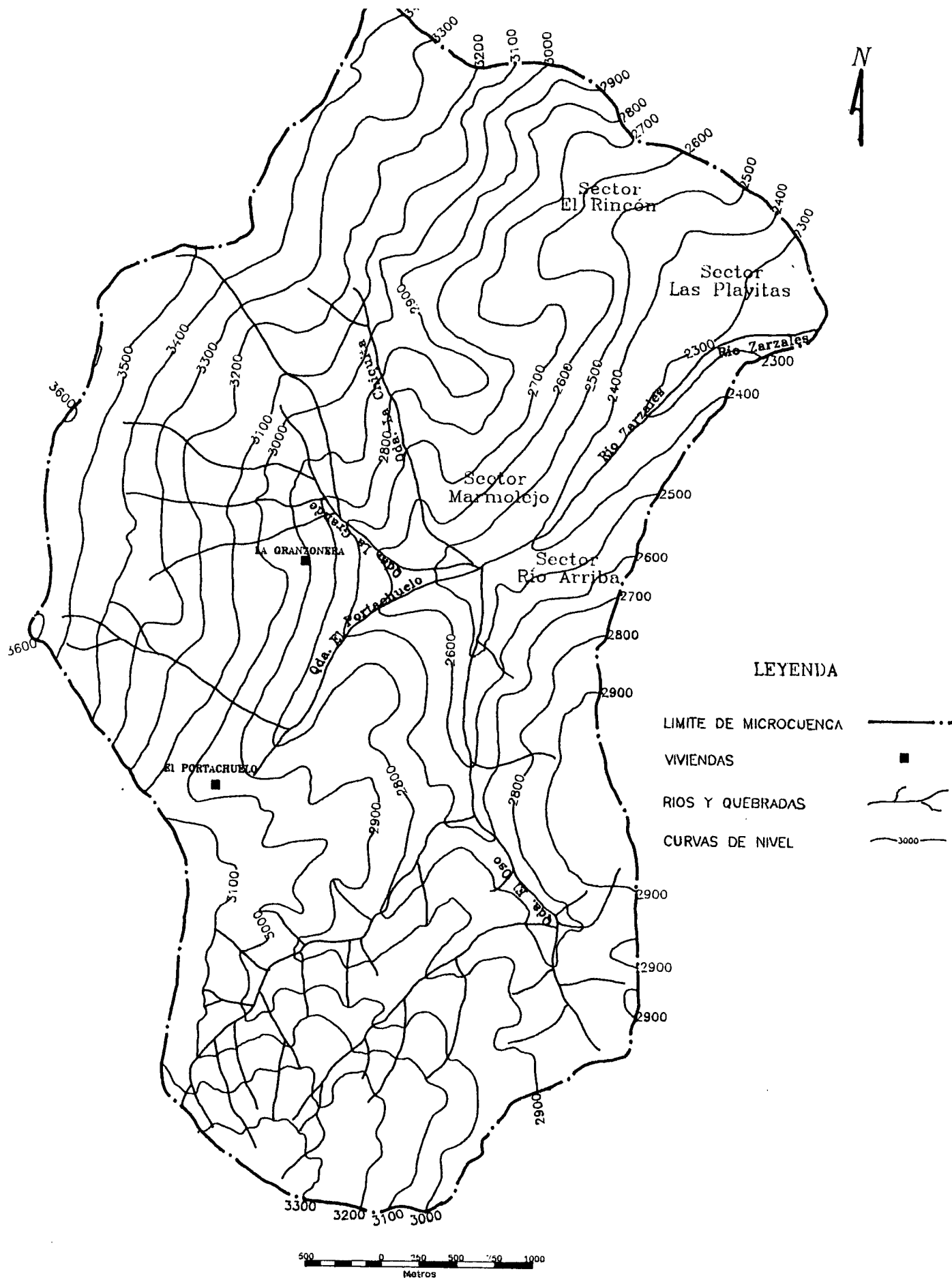


Figura 3. Mapa de la microcuenca "Zarzales-La Grande"

Un indicador de este tipo de erosión es la presencia de colores contrastantes en el suelos y subsuelo, aspecto que se observa en algunos lugares, especialmente en los sectores de Río Arriba, y Marmolejo, ya que son suelos con altas pendientes y destinados a una agricultura intensiva. Los colores claros de estos suelos contrastan con los de color mas oscuro existentes en lugares vecinos , aunque también ya se pueden observar de manera ligera un cambio de coloración.

Este tipo de erosión pasa casi imperceptible para el productor, por la forma en como se va desarrollando, sin embargo se puede detectar que existe una pérdida de suelo al observar en sitios donde se interrumpe el escurrimiento o al fondo de algunos canales de la partes bajas de los terrenos. La extensión efectada por este tipo de erosión en la microcuenca es de 37,5 ha aproximadamente.

Erosión por escurrimiento en surcos

La erosión en surcos se evidencia fácilmente en muchos lugares de la microcuenca. Existe la formación de canales sobre la superficie de los suelos, los cuales de manera progresiva van aumentando su capacidad de desprendimiento y transporte, dando lugar a la formación de surcos de mayor profundidad.

Este tipo de erosión se intensifica aún más por las formas de preparación de los suelos a favor de la pendiente, lo que facilita el escurrimiento y la formación de surcos más grandes. Todas las áreas agrícolas presentan este problema, pero con mayor intensidad en los suelos con altas pendientes y de uso agrícola intensivo. La extensión aproximada que cubre este tipo de erosión es de 3,5 ha, distribuidas en los sectores de Las Playitas, Marmolejo alto y bajo, el Rincón, Río Arriba y el sector Escalá.

Erosión por movimientos de masa

Este tipo de erosión se origina especialmente en las diferentes quebradas y vertientes altas de la microcuenca. Se presenta principalmente como deslizamientos.

Deslizamientos.

Entre los tipos de deslizamientos, el tipo rotacional es el más extendido, especialmente en la sección media-superior de la microcuenca. En los deslizamientos rotacionales la superficie tiende a ser cóncava hacia arriba y la masa que colapsa se mueve paralela a esa superficie. Este tipo de deslizamientos ocurre en vertientes con altas pendientes y a los bordes de las quebradas y se encuentran extendidos en una superficie aproximada de 12,2 ha en diferentes lugares de la microcuenca.

Unidades homogéneas de paisaje de la microcuenca Zarzales-La Grande

En general las pendientes de la microcuenca son altas, característica típica de las cuencas montañosas. Las pendientes más altas se encuentran en los terrenos de las secciones media y alta de la microcuenca con pendientes que van de 10 a 60%, sólo en la sección baja de la microcuenca que constituye una zona de valle existen pendientes menores al 10%. En la Figura 4 se muestra el mapa de pendientes del terreno con su respectiva clases y calificaciones.

En general los suelos de la microcuenca son poco profundos, con alta presencia de pedregosidad, sólo en el suelo de la zona de valle los suelos son profundos, esto es producto de un proceso largo de arrastre y sedimentación de tierra de las partes altas a las mas bajas. En la Figura 5 se muestra el mapa de profundidad de suelos.

Las formaciones geológicas que existen en la zona son Sierra Nevada y Mucuchachí. Estas formaciones prácticamente dividen en dos partes a la microcuenca, ocupando la mayor superficie la Formación mucuchachí. La presencia de acumulaciones aluviales antiguas como terrazas que constituye la zona de valle y conos de deyección, se encuentra sobre la Formación Mucuchachí.

Con base en las características mencionadas anteriormente, la microcuenca fue dividida en 17 unidades homogéneas de paisaje . El resumen de las características de las unidades de homogeneas de paisaje se presenta en la Tabla 16.

Tabla 16. Características de las unidades homogéneas de paisaje

Unidades de paisaje	Superficie (ha)	Pendiente (%)	Profundidad del suelo (cm)	Morfología	Formación geológica
A	18	< 10	> 90	Acumulaciones aluviales	Mucuchachi
B ₁	57	30 - 40	20 - 50	Vertiente	Sierra Nevada
B ₂	107	30 - 40	20 - 50	Vertiente	Sierra Nevada
B' ₁	232	30 - 40	20 - 50	Vertiente	Mucuchachi
B' ₂	109	30 - 40	20 - 50	Vertiente	Mucuchachi
C	156	10 - 30	20 - 50	Acumulaciones aluviales	Mucuchachi
D	30	10 - 30	< 20	Acumulaciones aluviales	Mucuchachi
E	103	50 - 60	20 - 50	Acumulaciones aluviales	Mucuchachi
F ₁	554	50 - 60	< 20	Vertiente	Mucuchachi
F ₂	132	50 - 60	< 20	Vertiente	Mucuchachi
G	130	40 - 50	20 - 50	Vertiente	Mucuchachi
H	127	30 - 40	50 - 90	Vertiente	Mucuchachi
I	230	30 - 40	< 20	Vertiente	Sierra Nevada
J	147	30 - 40	20 - 50	Vertiente	Sierra Nevada
J'	270	30 - 40	20 - 50	Vertiente	Mucuchachi
K	30	10 - 30	< 20	Vertiente	Sierra Nevada
K'	59	10 - 30	< 20	Vertiente	Mucuchachi

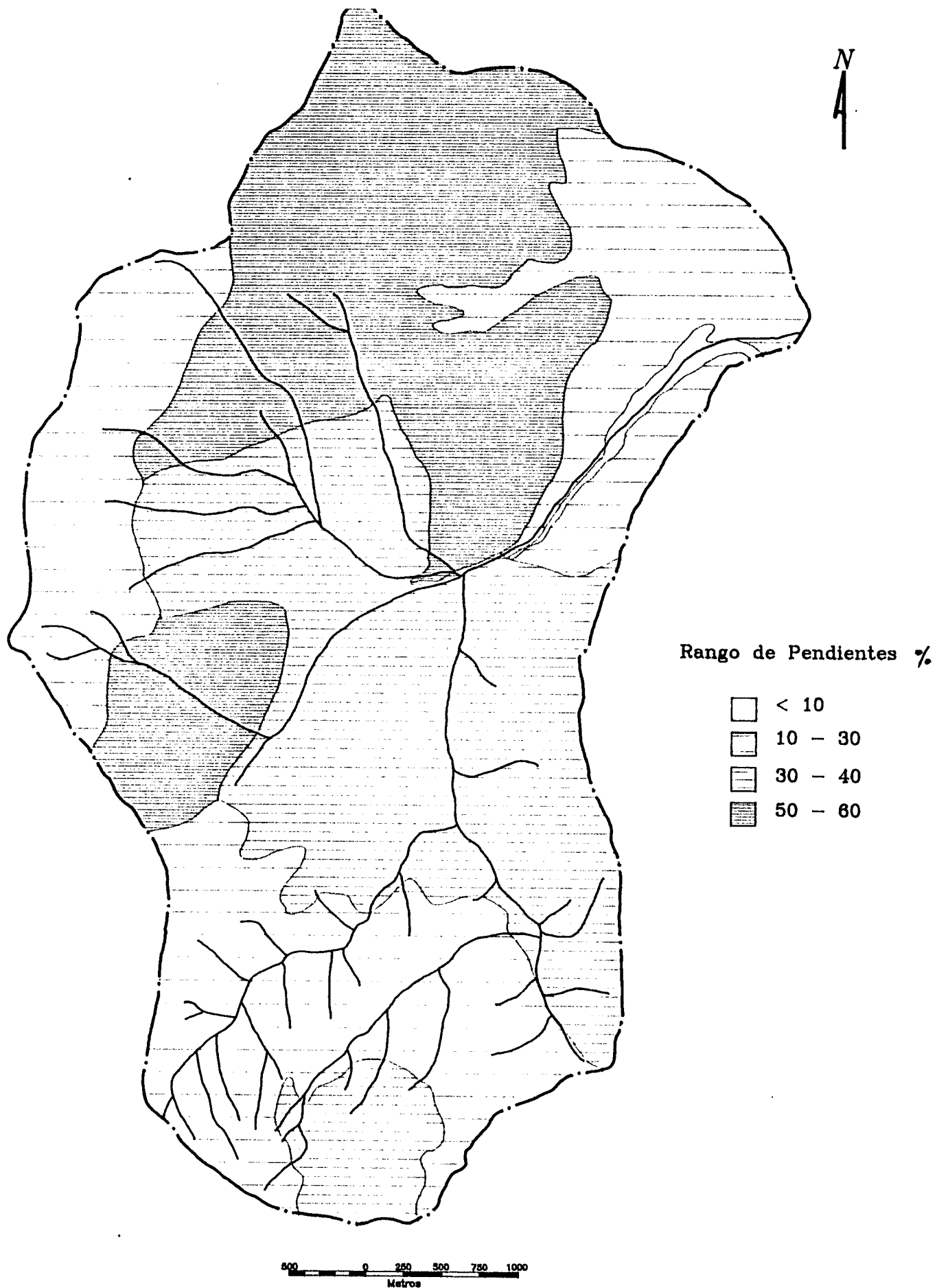


Figura 4. Mapa de pendientes de la microcuenca "Zarzales-La Grande"

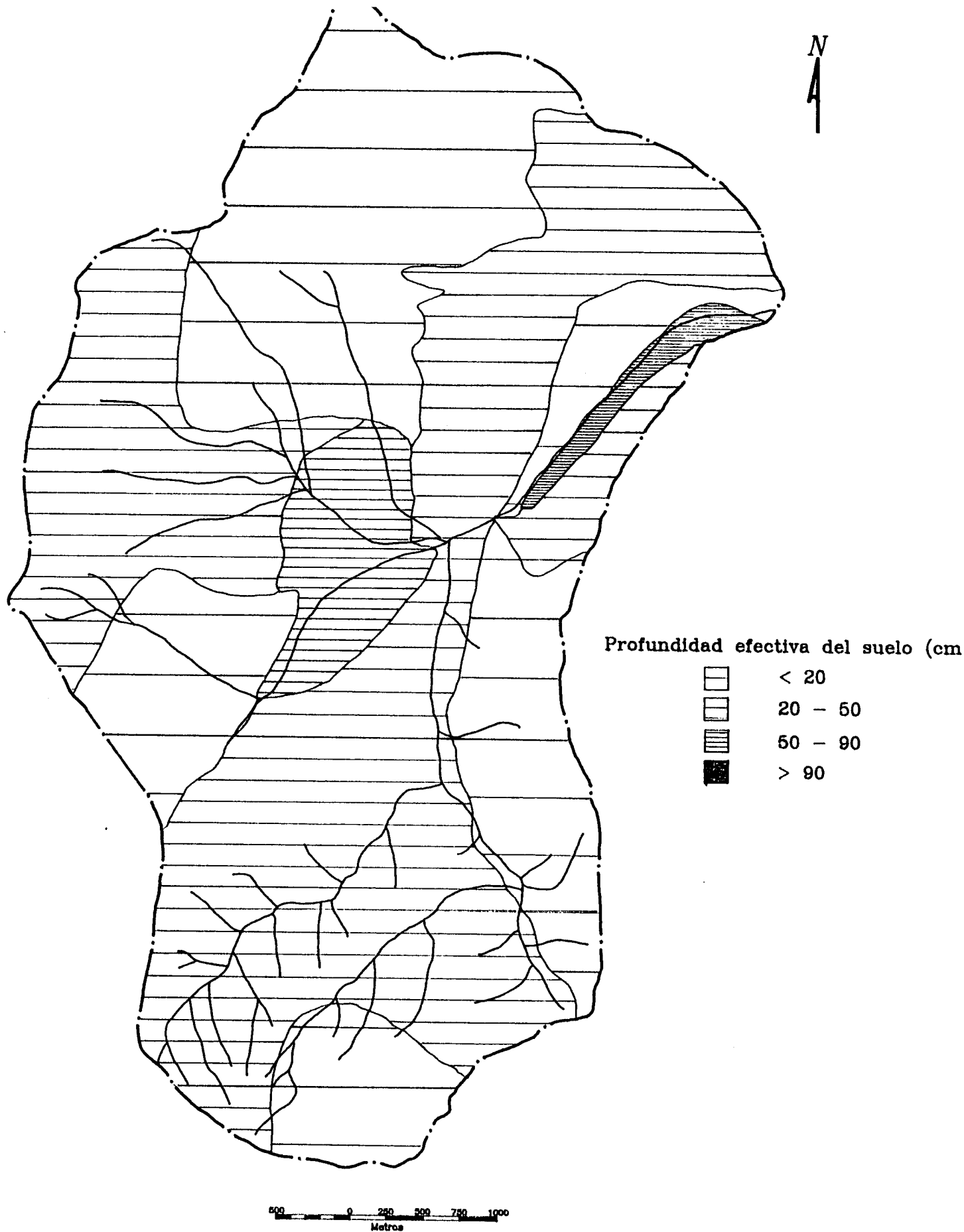


Figura 5. Mapa de profundidad efectiva del suelo de la microcuenca "Zarzales-La Grande"