

EVALUACION DE LAS RELACIONES EROSION-PRODUCTIVIDAD DE  
SUELOS, COMO CRITERIO PARA LA PLANIFICACION  
CONSERVACIONISTA DEL USO DE LA TIERRA EN CUENCAS ALTAS.  
CASO MICROCUENCA "ZARZALES-LA GRANDE"  
ESTADO MERIDA. VENEZUELA

POR RICHARD ERIK TERRAZAS ANZOLEAGA

TESIS PARA OPTAR AL GRADO DE MAGISTER SCIENTIAE EN GESTION DE  
RECURSOS NATURALES RENOVABLES Y MEDIO AMBIENTE (CON ENFASIS EN  
ESTUDIOS DE IMPACTO AMBIENTAL)

CENTRO INTERAMERICANO DE DESARROLLO E INVESTIGACION AMBIENTAL Y  
TERRITORIAL UNIVERSIDAD D ELOS ANDES  
MERIDA, VENEZUELA

1996

## **AGRADECIMIENTOS**

Deseo expresar mis más sinceros agradecimientos a las siguientes instituciones y personas:

Al Banco Interamericano de Desarrollo (BID), por la beca concedida, para la realización de la maestría en Gestión de Recursos Naturales Renovables y Medio Ambiente.

Al Director, cuerpo de profesores y personal administrativo del Centro Interamericano de Desarrollo e Investigación Ambiental y Territorial (CIDIAT), por la enseñanza, el apoyo permanente y la amistad recibido de cada uno de ellos.

A Fundación Polar, por el apoyo financiero para la realización de la presente investigación.

Al Ing. Msc. Fernando Delgado, amigo y tutor, mi más profundo agradecimiento por el cariño y amistad brindada.

Al Dr. Ph. D. Roberto López, por su amistad y acertadas sugerencias en el desarrollo del presente trabajo de investigación.

Al Grupo de Investigación de Cuencas Altas (GICAM) y en especial a los Ings. Msc. Máuricio Vera y Yolanda Molina, por el apoyo incondicional y oportuno en la realización del trabajo.

A todos los compañeros del Postgrado, por la amistad y apoyo en todo momento, y muy especialmente a Sarita, María Julia, Judith y Adam, compañeros de grupo, con los cuales compartí momentos especiales.

Un agradecimiento muy especial al amigo Don. Marcelo Nava y familia, por la amistad y cariño hacia mi persona.

Finalmente quiero agradecer a mis compañeros de alojamiento Ings. Miguel Angel López y Teofilo Payano, por la paciencia y amistad de cada uno de ellos.

## ÍNDICE

	Página
AGRADECIMIENTOS.....	v
LISTA DE TABLAS.....	xi
LISTA DE FIGURAS.....	xiv
RESUMEN.....	xv
Capítulo	
I. INTRODUCCIÓN.....	1
Objetivos.....	2
Objetivo general.....	2
Objetivos específicos.....	2
II. REVISIÓN DE LITERATURA.....	3
Evaluación de las relaciones erosión-productividad.....	3
Espesor del horizonte superficial y su relación con la productividad.....	4
Aplicación de enmiendas y fertilizantes para la restauración de la productividad.....	5
Métodos para evaluar el impacto de la erosión en la productividad del suelo.....	6
Experimentos y evaluaciones en campo.....	6
Estudios en laboratorio e invernadero.....	7
Modelos matemáticos e índices de productividad.....	7
Naturaleza de las relaciones erosión-productividad.....	9
III. MATERIALES Y MÉTODOS.....	12
Caracterización del área de estudio.....	12
Relieve.....	12

Geología.....	14
Formación Mucuchachi.....	14
Formación Sierra nevada.....	14
Geomorfología.....	14
Clima.....	14
Temperatura.....	14
Precipitación.....	15
Zonas de vida y vegetación natural.....	16
Hidrología.....	17
Suelos.....	18
Suelos residuales.....	18
Suelos transportados.....	18
Tipos de tierra por capacidad de uso.....	19
Uso actual de la tierra.....	19
Actividad agrícola.....	20
Comercialización-organización para la producción.....	21
Apoyo a la producción.....	22
Infraestructura de apoyo a la producción.....	22
Características poblacionales y servicios básicos.....	22
Síntesis del análisis de las condiciones naturales y socioeconómicas.....	23
Limitaciones.....	23
Potencialidades.....	24
Relación erosión-productividad.....	24
Experimentos en campo.....	24
Cultivos utilizados en los experimentos.....	27
Características técnicas del proceso productivo.....	28
Preparación de tierras.....	28
Siembra.....	28
Fertilización.....	28
Control de plagas y enfermedades.....	29

Cosecha.....	29
El modelo índice de productividad.....	29
Parámetro A.....	30
Subparámetro A1.....	31
Subparámetro A2.....	31
Parámetro B.....	32
Subparámetro B1.....	32
Subparámetro B2.....	32
Parámetro C.....	33
Subparámetro C1.....	33
Subparámetro C2.....	34
Factor de ponderación $K_i$ .....	34
Ejemplo de determinación del índice de productividad.....	35
Determinación de riesgos de erosión con fines de planificación.....	37
Erosividad (Factor R).....	37
Erosionabilidad (Factor K).....	37
Topografía (Factor LS).....	37
Cobertura (Factor C) y prácticas de manejo (Factor P).....	38
Tolerancia a la pérdida de suelo.....	38
Riesgo de erosión.....	38
Riesgo de erosión actual.....	38
Diseño de las alternativas de uso.....	39

Análisis estadístico.....	39
Análisis costos-beneficios.....	39
<b>IV. RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....</b>	<b>40</b>
Características de los suelos estudiados.....	40
Características físicas.....	40
Textura.....	40
Densidad aparente.....	40
Retención de humedad.....	40
Profundidad efectiva.....	42
Pedregosidad.....	42
Características químicas.....	42
Reacción del suelo (pH).....	42
Materia orgánica.....	42
Aluminio intercambiable.....	42
Variables morfológicas de los cultivos.....	43
Promedios de las variables estudiadas.....	44
Espesor del suelo superficial.....	44
Rendimientos de los cultivos.....	48
Índice de productividad.....	52
Tolerancia.....	55
<b>V. APLICACIONES.....</b>	<b>58</b>
Análisis de la situación actual de los suelos por riesgo de erosión.....	58
Análisis de las alternativas conservacionistas.....	62
Barreras vivas.....	62
Ventajas.....	62
Limitaciones.....	63

Acequias de ladera.....	63
Ventajas.....	63
Limitaciones.....	64
Terrazas alternas.....	64
Ventajas.....	64
Limitaciones.....	64
Diseño de las alternativas conservacionistas.....	65
Técnicas de valorización de los efectos ambientales.....	66
Valoración económica del problema de la erosión microcuenca "Zarzales-La Grande".....	66
Datos utilizados para la evaluación.....	66
Cultivos.....	66
Rendimiento y costos de producción de los cultivos.....	67
Costos de implementación y mantenimiento de las alternativas de conservación.....	67
Resultados del análisis económico.....	67
Consideraciones finales para la sustentabilidad del uso de la tierra.....	69
Aspecto económico.....	69
Aspecto socio-cultural.....	69
Aspecto ambiental.....	69
<b>VI. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....</b>	<b>70</b>
<b>BIBLIOGRAFÍA.....</b>	<b>73</b>
<b>APÉNDICE 1: Descripción de los perfiles de suelo.....</b>	<b>78</b>
<b>APÉNDICE 2: Características de suelo.....</b>	<b>86</b>

APÉNDICE 3: Resultados promedios de espesor de suelo, rendimiento e índice de productividad.....	102
APÉNDICE 4: Análisis de varianza.....	106
APÉNDICE 5: Análisis económico.....	111

## LISTA DE TABLAS

Tabla		Página
1	Tipos de pendiente predominantes en la microcuenca Zarzales-La Grande.....	12
2	Uso actual de la tierra .....	20
3	Tamaño de las fincas y tenencia de tierra .....	21
4	Clasificación tentativa de los suelos por su índice de productividad.....	36
5	Características físicas y químicas de los suelos estudiados.....	41
6	Variables morfológicas determinadas para el cultivo de zanahoria.....	43
7	Variables morfológicas determinadas para el cultivo de papa.....	43
8	Promedio de las variables: espesor de suelo superficial rendimiento e índice de productividad.....	44
9	Análisis de varianza. Variable espesor de suelo superficial, cultivo de zanahoria.....	45
10	Prueba de medias para la variable espesor promedio del suelo superficial para los distintos tratamientos.....	46
11	Análisis de varianza. Variable espesor de suelo superficial, cultivo de papa.....	47
12	Prueba de medias para la variable espesor promedio del suelo superficial para los distintos tratamientos.....	47
13	Análisis de varianza. Variable rendimiento, cultivo de zanahoria.....	49

14	Prueba de medias para la variable rendimiento, cultivo de zanahoria.....	49
15	Análisis de varianza. Variable rendimiento, cultivo de papa.....	50
16	Prueba de medias para la variable rendimiento, cultivo de papa.....	50
17	Análisis de varianza. Variable índice de productividad, cultivo de zanahoria.....	52
18	Prueba de medias para la variable índice de productividad, cultivo de zanahoria.....	53
19	Análisis de varianza. Variable índice de productividad, cultivo de papa.....	54
20	Prueba de medias para la variable índice de productividad, cultivo de papa.....	54
21	Ecuación de regresión entre las variables espesor de suelo superficial (e) y rendimiento (Y).....	55
22	Ecuación de regresión entre las variables índice de productividad (IP) y rendimiento (Y).....	56
23	Situación tendencial del riesgo de erosión hídrica.....	61
24	Situación prospectiva del riesgo de erosión hídrica con las alternativas propuestas.....	65

## LISTA DE FIGURAS

Figura		Página
1	Ubicación relativa del área de estudio.....	13
2	Histograma de temperatura promedio mensual y su desviación estándar.....	15
3	Histograma de precipitación promedio mensual y su desviación estándar.....	16
4	Diseño del diagrama de ubicación de los tratamientos y repeticiones utilizados en cada una de las parcelas.....	26
5	Efecto de los tratamientos sobre el suelo superficial cultivo de zanahoria.....	46
6	Efecto de los tratamientos sobre el suelo superficial cultivo de papa.....	47
7	Efecto de los distintos tratamientos en el rendimiento de la zanahoria.....	50
8	Efecto de los distintos tratamientos en el rendimiento de la papa.....	51
9	Efecto de los distintos tratamientos en el índice de productividad, cultivo de zanahoria.....	53
10	Efecto de los distintos tratamientos en el índice de productividad, cultivo de papa.....	54
11	Causas y efectos de la erosión en la microcuenca Zarzales-La Grande.....	59
12	Situación prospectiva. Enfoque conservacionista.....	60

## RESUMEN

Con el propósito de evaluar la relación erosión-productividad de los suelos en las cuencas altas de los Andes venezolanos con fines de planificación conservacionista, se validó el modelo de índice de productividad el cual está directamente relacionado con las condiciones edáficas del suelo.

La evaluación de la relación erosión-productividad se efectuó en parcelas comerciales, ubicadas en la microcuenca Zarzales-La Grande. Municipio Rivas Dávila, Estado Mérida. En cada una de ellas se establecieron tres tratamientos con tres repeticiones, determinándose las siguientes variables: espesor del suelo superficial, rendimientos de los cultivos e índice de productividad. Se utilizó la zanahoria (*Daucus carota L.*) y papa (*Solanum tuberosum L.*), como cultivos indicadores.

Los resultados obtenidos muestran diferencias estadísticamente significativas para las variables: espesor de suelo superficial, rendimiento e índice de productividad en el cultivo de zanahoria, en cambio, para el cultivo de la papa no se encontraron diferencias significativas. Se establecieron correlaciones significativas entre índice de productividad y rendimiento. Estas ecuaciones son de gran utilidad para el desarrollo de un proceso de planificación conservacionista.

**Palabras claves:** erosión-productividad, espesor de suelo superficial, índice de productividad, rendimientos de cultivos, Modelo de Índice de Productividad, Ecuación Universal de Pérdida de Suelo, zanahoria, papa, cuencas altas, Andes de Venezuela, planificación conservacionista.

## **CAPITULO I**

### **INTRODUCCIÓN**

La erosión de los suelos es uno de los principales problemas ambientales de los tiempos antiguos y modernos presentándose como uno de los mayores obstáculos para el desarrollo de la agricultura sustentable, afectando la producción total y la productividad de las tierras.

En Venezuela, en particular, la erosión incide marcadamente en la degradación de las tierras agrícolas y en las altas tasas de sedimentación. En ello influyen las altas intensidades de las lluvias tropicales, la presencia de suelos muy susceptibles a la erosión y un sistema de producción basado en el uso intensivo de monocultivos de ciclo corto y excesiva mecanización de la tierra, bajo el cual los suelos se encuentran sin una protección adecuada ante la acción del clima. (Páez, 1994).

En años recientes, la importancia de los efectos perjudiciales de la erosión en la productividad del suelo han comenzando a reconocerse, aún cuando las relaciones existentes entre ambos todavía, no están bien definidas.

Es necesario establecer la aplicación de una metodología adecuada para la evaluación del impacto de la pérdida de suelo sobre la productividad, a fin de contar con información bien fundamentada de los efectos de la erosión sobre la productividad de los suelos.

Estimaciones precisas de estos efectos son esenciales para el desarrollo de políticas agropecuarias y toma de decisiones en los planes del uso de la tierra y conservación de suelos en áreas afectadas por este importante proceso de degradación.

En la actualidad se dispone de muy poca información al respecto. Esta investigación pretende validar una metodología que sirva para generar información esencial para el desarrollo e implementación de estrategias que permitan prevenir y/o controlar la erosión y evaluar su impacto en la productividad dentro de un esquema general de planificación conservacionista del uso de la tierra.

## **Objetivos**

Los objetivos de este trabajo fueron los siguientes:

### **Objetivo principal**

Aplicar y validar una metodología para evaluar las relaciones erosión-productividad de suelos de tierras agrícolas en cuencas altas de los Andes de Venezuela.

### **Objetivos específicos**

1. Cuantificar los impactos de la erosión del suelo sobre la productividad, en términos de reducción de los rendimientos de cultivos específicos mediante evaluaciones en campo y bajo condiciones de erosión actual.
2. Aplicar y validar el modelo Índice de productividad (IP) en una microcuenca de los Andes venezolanos.
3. Estimar tolerancias de las pérdidas de suelo a partir del modelo Índice de Productividad (IP).
4. Realizar un análisis acerca de los cambios en la productividad de los suelos debido a la erosión en la zona de estudio.
5. Estimar beneficios económicos de algunas prácticas de conservación de suelos, que puedan ser utilizadas en la planificación conservacionista del área estudiada, a partir de la información generada en esta investigación.

## **CAPITULO II**

### **REVISIÓN DE LITERATURA**

#### **Evaluación de las relaciones erosión-productividad**

Uno de los procesos más generalizados y dañinos de la degradación de los suelos, es la erosión hídrica, definida como la pérdida parcial o total del suelo superficial arrastrado por el agua (Pla, 1993). Entre los efectos directos e inmediatos de la erosión hídrica están la pérdida acelerada y prácticamente irreversible de la base de sustentación de las raíces de las plantas de los cultivos, la cual retiene y almacena el agua y nutrientes que ellas requieren; la pérdida de nutrientes naturales o agregados con los fertilizantes; y el arrastre de semillas o plantas aún poco desarrolladas. Todo ello al ir acompañado de la pérdida de una fracción importante del agua de lluvia por escorrentia, puede causar efectos negativos inmediatos sobre la producción, derivados del déficit hídrico y/o nutricional, y de descensos en la población de las plantas. A mediano y largo plazo se presenta un adelgazamiento progresivo del suelo superficial que es el que generalmente tiene mejores condiciones físicas y químicas o de sus fracciones más activas (arcilla y materia orgánica), llegando al afloramiento de horizontes más profundos, compactos, arcillosos, ácidos, ó pedregosos. Esto va conduciendo a progresivas y mayores dificultades y costos en la preparación de tierras, con mayores requerimientos de fertilizantes y/o enmiendas, y mayores riesgos de sequía, que en muchas ocasiones llevan a la pérdida total de la capacidad productiva del suelo (Pla, 1993).

La productividad del suelo se va reduciendo lentamente por acción de la erosión, de forma imperceptible, de manera tal que puede que no sea detectada si no hasta que las tierras dejen de ser económicamente sustentables para el crecimiento de los cultivos. Además, frecuentemente las tecnologías de manejo de suelos enmáscaran la reducción de la productividad debida a la erosión, evitando que el fenómeno pueda ser detectado oportunamente (Langdale y Shrader, 1981; citados por Delgado, 1990).

Cuantificar los efectos de la erosión de los suelos en el rendimiento de los cultivos es una tarea compleja, porque envuelve estimaciones de una serie de interacciones entre las propiedades de los suelos, condiciones topográficas, factores climáticos, características de los cultivos y sistemas de manejo. (Lal, 1982, citado por López, 1994). El logro de la cuantificación de las relaciones erosión-productividad permite identificar regiones con un alto riesgo de degradación y estimar el impacto de diversas opciones de mantenimiento a largo plazo. (Littleboy , Silburn, Freebairn, Hammer y Leslie, 1992).

Investigaciones realizadas sobre la erosión del suelo y su impacto en la productividad han sido desarrolladas en distintos lugares del mundo. En Nigeria, por la pérdida de 5 cm de la capa superficial, se reportó una reducción de aproximadamente 50% en los rendimientos del maíz (Sanders, 1981, citado por Wolman, 1985).

En Rusia se ha reportado que la erosión natural de 5 mm y 15 mm de suelo han reducido los rendimientos del trigo de invierno en un 50 y 70% respectivamente (Wolman, 1985).

Carter (1993) señala que la erosión disminuye los rendimientos de los cultivos en un 15 a 40% e incluso hasta en un 50% y menciona el estudio en el cual la productividad de la tierra disminuyó en un 25% por la erosión en surcos, causada por la irrigación.

Por otro lado estudios realizados en Indiana (EE.UU.) durante 10 años, reportaron que los rendimientos del maíz y soya decrecieron en 9, 14, 18% y 17, 20 y 24% respectivamente para fases de erosión clasificadas como ligera, moderada y severa (Weesies, Livingston, Hosteter y Schertz, 1994).

### **Espesor del horizonte superficial y su relación con la productividad**

Tradicionalmente el efecto de la erosión sobre la productividad se ha evaluado a través de la pérdida de profundidad del suelo, principalmente de la capa arable por ser allí donde se concentra la mayor cantidad de materia orgánica, nutrimentos y actividad agrícola (Mannering, 1981; Humi, 1985).

El efecto de la erosión en los rendimientos depende de las características del horizonte subsuperficial, mientras más desfavorables sean estas características mayor repercusión de la erosión sobre la productividad ( Crosson, 1985; Lal, 1988; El Swaify, 1987; citados por Páez, 1991).

Con la pérdida de suelo superficial, ocurren ciertos cambios en las propiedades del suelo remanente, los cuales son responsables de la reducción del rendimiento de los cultivos y de la expresión de problemás asociados al manejo del suelo (Langsdale, Box, Leonard, Barnett y Fleming, 1979; Power, Sandoval y Ries, 1981; Henning y Khalaf, 1985, citados por López, 1994).

Si parte del cuerpo del suelo es removido por la erosión, la profundidad disponible para un buen desarrollo de raíces puede también ser reducida. A menos que el material subyacente sea tan favorable como el superficial, la profundidad de

enraizamiento y cualidades como la capacidad de almacenamiento de humedad se verán reducidas y el rendimiento de los cultivos decrecerá, aún cuando se realicen aplicaciones de enmiendas y fertilizantes (Larson, Pierce, Winkelman, 1985 citados por López, 1994). Al respecto, Carter (1993) señala que los rendimientos de las cosechas disminuyen cuando la capa superficial de los suelos decrece, pero los rendimientos de las cosechas no son incrementados en los suelos donde el espesor de la capa superficial es incrementado más allá de una profundidad crítica.

Stocking y Peake (1987) señalan como los factores más importantes del suelo relacionados con el rendimiento de los cultivos: el estado nutricional del suelo (pérdida del contenido de nutrientes y de materia orgánica, cambios de pH), el agua disponible para las plantas (reducción en la profundidad de enraizamiento y en la capacidad de almacenamiento de humedad del suelo remanente), la estabilidad estructural del suelo, su densidad aparente, de marcada influencia en el desarrollo radical. Los mismos autores destacan una importante influencia de las características climáticas y del tipo de cultivo considerado en los experimentos, aún cuando señalan que existen evidencias de que la mayoría de los cultivos siguen la misma tendencia de declinar sus rendimientos con la erosión. Weesies et al., (1994) indican que los rendimientos de los cultivos están estrechamente relacionados con el grado de afectación de las propiedades del suelo por la erosión, pero principalmente por la profundidad del suelo y capacidad de retención de agua.

Investigaciones realizadas sobre el estudio de la productividad en suelos de Los Andes venezolanos afectados por la pérdida del horizonte superficial demostraron que la magnitud de dichas pérdidas varían de un suelo a otro. Así por ejemplo el declinar de la productividad fue más severo en un Ultisol que en un Inceptisol y Aridisol (López, 1994).

Estudios realizados en la India sobre el horizonte superficial, en suelos del Orden Alfisol con diferentes profundidades, se determinó que el espesor del suelo disminuye en 0.91 cm/año en una pendiente del 10% siendo su vida efectiva de 91 años (Weesies et al., 1994).

### **Aplicación de enmiendas y fertilizantes para la restauración de la productividad**

La adición de fertilizantes en los horizontes subsuperficiales expuestos es una práctica que ha logrado incrementar el rendimiento de los cultivos, pero una apreciación generalizada es que los rendimientos no alcanzan el nivel que se logra con cultivos desarrollados en los mismos suelos no afectados, o solo ligeramente afectados por la erosión (Mbagwu, Lal y Scott, 1984; Mássee y Waggoner, 1985).

Cuando un suelo se degrada por erosión los daños pueden dividirse, según se afecten atributos del suelo, en reemplazables e irremplazables. Se califican como reemplazables aquellos atributos que pueden recuperarse a través de adiciones de sustancias al suelo tal como fertilizantes y enmiendas calcáreas, como ejemplo de atributos de suelo irremplazables se citan la capacidad de retención de agua y la profundidad de enraizamiento (Larson, 1987; citado por López, 1994).

Con base en la capacidad de recuperación de los suelos degradados por la erosión se consideran dos categorías de suelos: renovables y no renovables. Un suelo renovable, aún cuando afectado por la erosión podría ser restáurado hasta alcanzar un grado de productividad equivalente a su condición inicial antes de ser erosionado, no así un suelo no renovable. En este planteamiento se trata de lograr la renovación mediante la adición de fertilizantes y prácticas adecuadas de manejo. Sin embargo, los atributos reemplazables del suelo pueden resultar prohibitivamente costosos, fuera del alcance de los agricultores de menores recursos y usualmente en condiciones de uso de las tierras con mayores riesgos de degradación de suelos (Schertz 1983; citado por López, 1994).

De cualquier manera, señala Larson (1987) que si los nutrientes perdidos son reemplazados, la pérdida de productividad se hace aproximadamente lineal con relación a la pérdida de profundidad de enraizamiento, debido a la pérdida del suelo por erosión, hasta que se alcanza una capa que restrinja el desarrollo de las raíces. De allí el hecho de considerar que la pérdida de productividad potencial de los suelos afectados por la erosión sea mayormente debido a la afectación de características como la capacidad de almacenamiento de humedad y la profundidad de enraizamiento. Al respecto Carter (1993) indica, que la disponibilidad de una tecnología que pueda restáurar la productividad del suelo a sus condiciones originales es inexistente.

### **Métodos para evaluar el impacto de la erosión en la productividad del suelo**

• La cuantificación de los efectos de la erosión sobre los rendimientos de los cultivos es una tarea compleja ya que implica una serie de interacciones entre propiedades del suelo, características del cultivo y clima y la importante influencia del sistema de manejo (Lal, 1988). Numerosas técnicas han sido sugeridas para establecer la relación causa efecto entre erosión y rendimiento. Páez (1991) y Delgado (1991) hacen una descripción general de estas metodologías:

### **Experimentos y evaluaciones en campo**

Permiten conocer el efecto de la erosión y sus implicaciones en el rendimiento de los cultivos, tratándose de experimentos sobre suelos cuyos daños causados por

la erosión son conocidos, o bien a través de las técnicas de remoción del horizonte superficial del suelo.

### **Experimentos sobre suelos con diferentes grados de afectación por la erosión asociada a la utilización de las tierras**

Se busca relacionar el efecto de la erosión, conocido el grado de afectación del suelo, con el rendimiento de los cultivos bajo diferentes condiciones de manejo. Es común utilizar variaciones en el grosor del horizonte superficial o la localización subsuperficial de estratos que pueden impedir el normal desarrollo de las raíces del cultivo, la expresión de tales condiciones para un suelo particular se asocia a diferentes grados de erosión que afecta al suelo y al consiguiente efecto que puede tener sobre su productividad. ***Estudios de este tipo se pueden hacer en unidades de producción comercial, evaluando el impacto de la erosión sobre los rendimientos en suelos representativos considerando zonas geográficas homogéneas en cuanto a clima y sistemas de producción agrícola.*** Otra modalidad son los estudios en unidades experimentales siguiendo un diseño estadístico adecuado, las evaluaciones pueden hacerse bajo condiciones de lluvias naturales o simuladas.

### **Experimentos sobre suelos afectados por remoción artificial del suelo superficial**

Se trata de evaluar el efecto de la erosión sobre la productividad removiendo artificialmente el horizonte superficial, en parcelas experimentales a profundidades variables y evaluando el comportamiento de los cultivos, bajo cada una de las condiciones simuladas de suelos afectados bajo diferentes condiciones de manejo.

### **Estudios en laboratorio e invernadero**

Los experimentos en invernadero permiten estudiar bajo condiciones controladas o semicontroladas diferentes aspectos de la relación erosión-productividad. Se dan diferentes modalidades para la instalación y manejo de este tipo de experimento, dependiendo de los objetivos del estudio.

### **Modelos matemáticos e índices de productividad**

Después del primer intento de Hagen y Dyke (1980), citados por Delgado (1990), tendente a desarrollar un modelo matemático basado en relaciones empíricas entre rendimiento de los cultivos y pérdidas de suelo por erosión, se han realizado grandes esfuerzos de investigación en ese sentido. Demostración de ello son los modelos EPIC "Erosion Productivity Impact Calculator" (Williams, Renard y

Dyke, 1983) y NTRM "Nitrogen-Tillage-Residue Management" que desarrollan en detalle las relaciones erosión- productividad.

Un método menos complejo para la estimación de los efectos de la erosión sobre la productividad del suelo es el Índice de Productividad (IP), originalmente desarrollado por Neill (1979) y modificado por Kiniry, Sirivner y Keener (1983) y por Pierce, Larson, Dowdy y Graham (1983), citados por Lindstrom, Schumacher, Jones y Gantzer, (1992) que ha sido usado como instrumento para la evaluación de la productividad del suelo. El fundamento de este instrumento es que bajo condiciones similares de clima, cultivo y manejo de suelo, la productividad está directamente relacionada con las propiedades edáficas.

El Índice de Productividad desarrollado en Estados Unidos ha sido probado y aplicado por investigadores de otras latitudes, bien para conocer el potencial productivo de los suelos o para indagar sobre las relaciones entre la erosión del suelo y su impacto en la productividad bajo diferentes condiciones ambientales (Delgado, 1995).

Rijsberman y Wolman (1985) presentan un estudio comparativo de los resultados de investigaciones en Estados Unidos, Nigeria, Hawai y México. Estos resultados muestran que el modelo IP constituye una herramienta muy útil, especialmente cuando se incluyen parámetros modificados para tomar en cuenta condiciones particulares de suelos que difieren de aquellos donde el modelo fue diseñado originalmente.

Para utilizar el Índice con propósito de evaluar la productividad de los suelos o estimar el impacto de la erosión se requieren tres condiciones: a) datos de suelo y rendimientos por cada localidad, b) datos de erosión por un número suficiente de años que permita demostrar el efecto del proceso con tasas reales de pérdida de suelo y c) valores constantes de los demás factores que afectan la productividad clima-manejo-cultivos.

La ecuación para la determinación del Índice de Productividad (Kiniry et al., 1983) es la siguiente:

$$IP = \sum_{i=1}^n (A_i * B_i * C_i * D_i * E_i * R_i)$$

En tal expresión A, B, C, D y E representan valores de suficiencia de las propiedades del suelo (capacidad de almacenamiento de agua aprovechable, aireación, densidad aparente, pH y conductividad eléctrica del suelo respectivamente), R<sub>i</sub> es un factor de ponderación para un estrato (i) del suelo en particular, n es el número de estratos a considerar (incrementos o estratos de 0 a 10

cm), el índice de productividad que se obtenga tendrá valores que oscilen entre 0 y 1, siendo este último valor la condición ideal.

El IP ha sido evaluado en varios países además de EE.UU., y se han hecho adaptaciones para las diferentes condiciones en que han sido utilizados (Rijsberman y Wolman 1985).

En América Latina y Venezuela en particular, por las características propias de la región surge la necesidad de investigar desarrollar y validar un modelo de Índice de productividad. Estos estudios son iniciados por Delgado (1989, 1990, 1995) y Delgado y López (1995).

### **Naturaleza de las relaciones erosión-productividad**

Resultados obtenidos de investigaciones de las relaciones erosión-productividad reflejan cierta consistencia y coinciden en señalar que existe una relación estrecha entre erosión del suelo y productividad, pero que tal relación generalmente no es de carácter lineal (Delgado, 1990).

En efecto, los resultados de numerosas investigaciones llevadas a cabo en condiciones de campo o en invernadero resaltan, casi como constante, la naturaleza curvilínea de las relaciones erosión-productividad; éstas relaciones se pueden expresar a través de funciones empíricas que adoptan formas diversas según las características del suelo que se erosiona y el carácter de las variables que se usan para medir el grado de erosión. Las funciones erosión-productividad relacionan comúnmente el rendimiento de los cultivos (kg/ha, t/ha) con alguno de los siguientes parámetros utilizados frecuentemente para medir el grado de erosión de un suelo: a) erosión acumulada (mása de suelo removida por unidad de superficie t/ha, Mg/ha y lámina de suelo removida mm, cm); b) espesor del horizonte superficial (mm, cm); c) profundidad a horizontes o capas restrictivas (mm, cm).

El parámetro erosión acumulada, en términos de mása de suelo removida por unidad de superficie (kg/ha, t/ha), mide directamente las pérdidas de suelo por erosión pasada y es quizás la variable más apropiada para relacionar funcionalmente productividad y erosión. Sin embargo, la obtención de este valor requiere experimentos de campo o laboratorio sobre parcelas de escorrentía o bandejas de erosión respectivamente para medir con precisión la cantidad de suelo perdido. Lal (1981), citado por Delgado (1990), utilizando experimentos sobre suelos de erosión pasada conocida, obtuvo relaciones exponenciales ( $y = a \exp(-bx)$ ) entre rendimientos de cultivos (t/ha) y erosión acumulada (t/ha) con elevados coeficientes de correlación. La ecuación demuestra que los rendimientos se reducen exponencialmente a medida que la erosión acumulada se incrementa.

El uso de la lámina de suelo removida acumulada (mm, cm) es menos frecuente para establecer relaciones erosión-productividad. Lal (1988), citado por Delgado (1990) se refiere a los experimentos de Mbagmu *et al.*, quienes trabajando con la técnica de la remoción artificial del suelo superficial lograron ajustar funciones cuadráticas ( $y = a + bx + cx^2$ ) entre rendimiento y erosión, utilizando el espesor o la lámina de suelo removida como variable independiente.

El parámetro espesor del horizonte superficial (mm, cm) ha sido quizá el más ampliamente utilizado por diversos investigadores para el estudio de las relaciones erosión-productividad. En el siglo XIX, Mitscherlich desarrolló la ley de rendimientos decrecientes. Christensen y McElyea (1985), citados por Delgado (1990) señalan que fueron Spillman y Lang (1924) los primeros en proponer que las relaciones entre rendimiento y espesor del suelo superficial podían ajustarse bien a la función de Mitscherlich ( $y = a + b(1 - \exp(-cx))$ ) lo cual dió origen a que la expresión que más comúnmente se utiliza para relacionar el espesor del suelo superficial con los rendimientos se conozca con el nombre de función Mitscherlich-Spillman (M-S).

En suelos bajo riego, Carter (1985), citado por Delgado (1990) evaluó los cambios en el rendimiento de varios cultivos, en relación a variaciones en el espesor del suelo superficial por efectos de la erosión en diferentes tramos de los surcos de riego, obteniendo funciones curvilíneas de tipo semi-logarítmico ( $y = a + b \ln(x)$ ) altamente significativas entre los rendimientos y el espesor del suelo superficial. La investigación mostró evidencias que los rendimientos de algunos cultivos se incrementaron en aquellos sitios donde aumentó el espesor del horizonte superficial debido al depósito de sedimentos producto de la erosión por remoción en los tramos superiores del surco, mientras que en estos últimos sitios la disminución en el espesor del horizonte superficial por la erosión se tradujo en una disminución significativa en los rendimientos.

En Los Andes venezolanos, Delgado y López (1995) ajustaron un modelo de tipo semi-logarítmico entre rendimiento de caraota (*Phaseolus vulgaris L.*) y remoción del espesor del suelo superficial coincidiendo con las funciones curvilíneas del tipo semi-logarítmica reportadas por Carter (1985).

El parámetro profundidad a horizontes o capas restrictivas es usado también con frecuencia para evaluar el grado de erosión del suelo y relacionarlo con la profundidad. La poca profundidad a horizontes argílicos o su exposición en superficie, reduce considerablemente la productividad del suelo.

En Venezuela Castillo y Páez (1989) ajustaron un modelo potencial ( $y = ax^b$ ), entre rendimientos de sorgo y profundidad al horizonte argílico, en suelos Ultisoles de los Llanos Centrales. Estos resultados parecen coincidir con la función

exponencial que aparentemente constituye el primer segmento de la curva sigmoideal obtenida por Christensen y McElyea (1985) al relacionar rendimientos de trigo con espesor del suelo sobre el horizonte argílico, según lo reporta Delgado (1990).

## CAPITULO III

### MATERIALES Y MÉTODOS

#### Caracterización del área de estudio

La microcuenca seleccionada para el estudio, se denomina "Zarzales-La Grande", y se localiza en la "Serranía de Tovar", la cual forma parte de Los Andes venezolanos, que constituye una de las estribaciones septentrionales de formación montañosa de Los Andes Sudamericanos. Geográficamente se ubica entre los 08° 10'00" y 08°15'00" de latitud norte y los 71°52'30" y 71°55'00" de longitud oeste. Limita al Norte con el Páramo de La Negra, por el Sur con los Páramos Las Puntas y Viriguaca, por el Este con Bailadores y por el Oeste con el Páramo El Batallón, tiene una superficie aproximada de 2.507 ha. Administrativamente se encuentra en el Municipio Rivas Dávila, capital Bailadores. Parroquia Gerónimo Maldonado. La Figura 1 muestra con más detalle la ubicación del área de estudio.

#### Relieve

La vertiente izquierda de la microcuenca "Zarzales-La Grande" se caracteriza por presentar altas pendientes que varían desde 35% hasta 65% en la parte superior de la cuenca. La vertiente derecha presenta igualmente altos valores de pendiente, las altitudes oscilan alrededor de los 3.100 msnm.

Los tipos de pendientes predominantes de la microcuenca se presentan en la Tabla 1. De éste se desprende que la topografía del área es muy accidentada, presentando valores de pendiente que superan el 25% en más del 75% de la superficie. Se puede apreciar que más del 50% de las tierras presentan pendientes pronunciadas y muy pronunciadas.

Tabla 1. Tipos de pendiente predominantes en la microcuenca: "Zarzales-La Grande (CORPOANDES, 1993).

Pendiente (%)	Tipo de Pendiente	Area Total (%)
< 12	Suave	-
12-25	Moderada	6.30
25-35	Mod. Pronunciada	15.55
35-50	Pronunciada	35.85
50-60	Muy Pronunciada	27.50
60-75	Escarpada	4.30
> 75	Muy Escarpada	10.50
<b>Total</b>		<b>100.00</b>

**Situación relativa nacional del Estado Mérida**



**Situación relativa regional del municipio Rivas Davila**

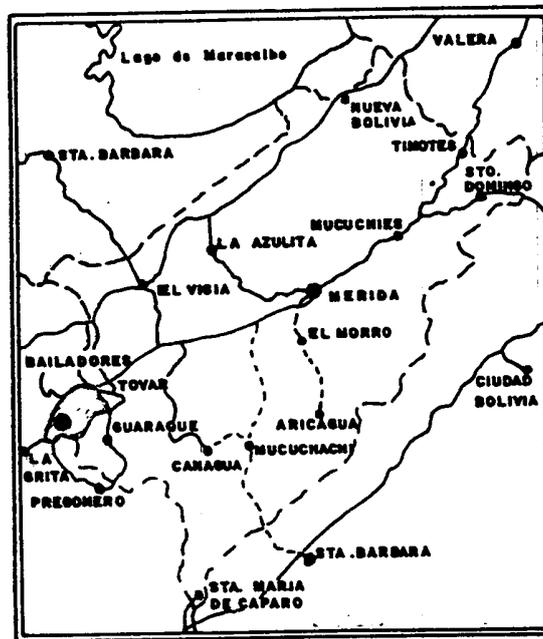


Figura 1. Ubicación relativa del área de estudio (tomado de Sandia, 1995)

## **Geología**

En el área de estudio se presenta dos formaciones geológicas: La formación Mucuchachí y la Sierra Nevada.

### **Formación Mucuchachí**

Esta formación de edad Carbonífero medio-Pérmico inferior está integrada por rocas de bajo grado de metamorfismo, representada por una secuencia de pizarras laminadas y limosas de color negro a gris verdoso, con las pizarras se intercalan delgadas franjas de areniscas impuras, laminadas duras de color algo más claro que el de las pizarras que localmente muestran desarrollos macizos.

### **Formación Sierra Nevada**

Esta formación de edad Precámbrica y naturaleza ígnea, se caracteriza litológicamente porque representa el conjunto de rocas más antiguas de Los Andes venezolanos. Está compuesto de gneises y esquistos en un 90% de grano medio a grueso intercalados y de rocas graníticas altamente plegadas y meteorizadas.

## **Geomorfología**

La microcuenca, por estar localizada en una zona montañosa, presenta cambios bruscos de pendiente favoreciendo el depósito de materiales. Existe presencia de escarpes de terraza con valores de pendiente muy altos, en estas pendientes ocurren desprendimientos superficiales de materiales que son depositadas en las partes bajas. El escurrimiento superficial es el proceso morfodinámico dominante, fenómeno que ha provocado la diferenciación de formas, asociadas al transporte y acumulación de materiales de origen aluvial y coluvial.

## **Clima**

La caracterización climática de la zona de estudio se realizó en base a los registros de la Estación Meteorológica de Bailadores del Fondo Nacional de Investigaciones Agrícolas y Pecuarias, FONAIAP (1987-1995) que se encuentra a una altitud de 2.200 msnm.

### **Temperatura**

El sector objeto de la investigación presenta altitudes que varían desde los 2.200 a 3.600 msnm, las cuales influyen en la temperatura. La temperatura media anual de la microcuenca a los 2.200 msnm es de 15,48°C con temperaturas medias

mínimas de 14.56°C y medias máximas de 16.10°C, con escasas fluctuaciones entre los meses más calidos y más frios.

Con base en el histograma de temperatura promedio mensual (Figura 2), las temperaturas cercanas a los 16°C se presentan en los meses de abril a junio y de septiembre a octubre, en cambio temperaturas cercanas a los 15°C se presentan a lo largo de los meses restantes.

Con la altitud la temperatura disminuye en  $-0.6^{\circ}/100$  m, así a los 3.600 msnm se presenta una temperatura promedio de 7.36°C con temperaturas medias mínimas de 6.44°C y medias máximas de 7.98°C.

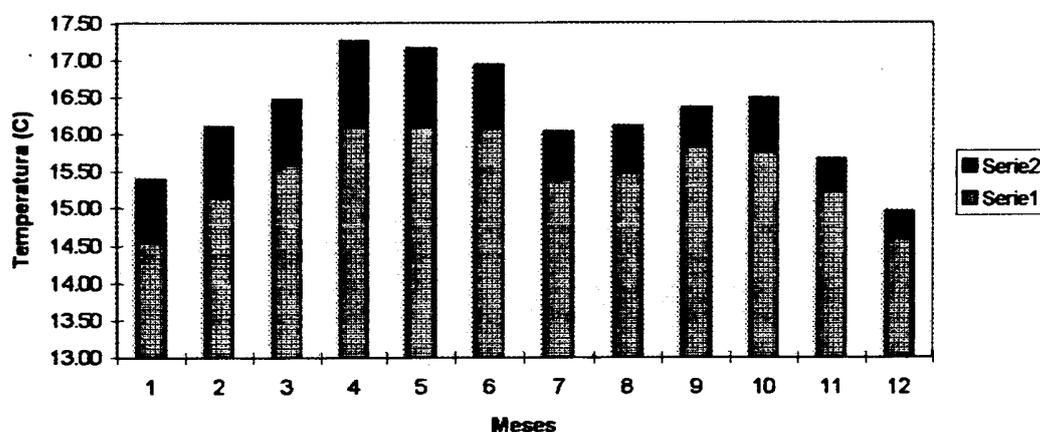


Figura 2. Histograma de la temperatura promedio mensual y su desviación estándar (1987-1995). Estación Experimental de Bailadores.

### Precipitación

Los registros de precipitación (1987-1995), indican que el promedio anual de precipitación es de 654.8 mm.

Con base en el histograma de precipitación promedio mensual (Figura 3), la pluviometría en el área se caracteriza por presentar un régimen bimodal que presenta alternancia de periodos lluviosos y periodos secos. Los periodos lluviosos van de abril a mayo y de octubre a noviembre y los periodos secos se presentan de diciembre a marzo y de junio a julio. Las máximas precipitaciones en el año, ocurren una en el mes de octubre y otro en el mes de mayo.

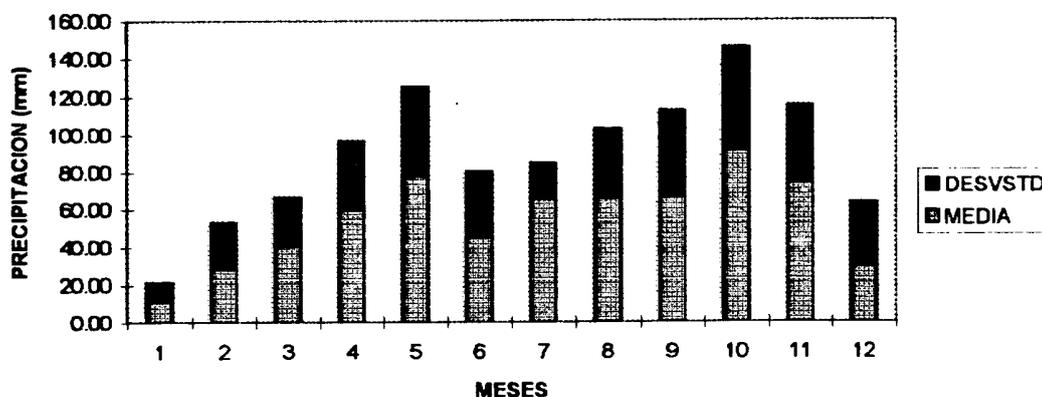


Figura 3. Histograma de precipitación promedio mensual y su desviación estándar (1987-1995). Estación Experimental de Bailadores.

### Zonas de vida y vegetación natural

En el área de estudio se reconocen, según la clasificación de Holdridge, cuatro zonas de vida: Páramo pluvial subalpino (ppSA) se encuentra por encima de los 3.500 msnm, Bosque muy húmedo montano (bmhM) sobre los 3.100 msnm, bosque húmedo montano (bhM) entre los 2.700 y 3.100 msnm y muy localmente por debajo de los 2.700 msnm bosque húmedo montano bajo (bhMB). (CORPOANDES, 1993; Rivera, 1996).

**Páramo pluvial subalpino (ppSA).** Se caracteriza por presentar una temperatura media anual entre 3 y 6° C, sus límites se encuentran aproximadamente por encima de los 3.500 msnm. La vegetación se mantiene uniforme sobre los 3.200 msnm se observan relictos aislados de bosque paramero caracterizados por un porte bajo muy ramificado que ofrecen puntualmente protección al suelo, predominan los géneros *Espeletia*, *Hypericum* y *Aciachne*.

**Bosque muy húmedo montano (bmhM).** Las temperaturas promedio anual de esta zona de vida oscila entre los 6 y 12° C, se encuentra sobre los 3.100 msnm. Presenta vegetación casi inalterada en algunas regiones, predomina el género *Podocarpus* con helechos arbóreos, el epifitismo es alto manifestándose por la presencia de diferentes especies de bromeliáceas, líquenes y musgos. Por su alta humedad y baja temperatura, el uso agropecuario de esta formación es casi nulo.

**Bosque húmedo montano (bhM)**. Se encuentra entre los 2.700 y 3100 msnm, las temperaturas promedio anual oscilan entre 6 y 13° C. La vegetación original *Podocarpus*, *Clusia* ha sido fuertemente intervenida, y sólo se la observa en las orillas de las quebradas, el suelo está cubierto por gramíneas y arbustos.

Existe presencia de cultivos y pastos, a pesar que la topografía limita la explotación agrícola principalmente por la pendiente.

**Bosque húmedo montano bajo (bhMB)**. Se encuentra por debajo de los 2.700 msnm y presenta temperaturas promedio anual que varían desde los 12 a 15° C. Presenta un bosque secundario que se ha formado de la explotación de áreas para el uso agrícola o ganadero que posteriormente han sido abandonados, predomina el pastoreo y la producción de hortalizas.

### **Hidrología**

La quebrada La Grande presenta un factor de forma muy cercana a la circular (0.88), lo que la hace una microcuenca con un comportamiento uniforme de la precipitación. Debido a estas características las crecidas máximas afectan toda la superficie de la microcuenca y las infraestructuras instaladas sobre ella. El factor de capacidad (Hc) de Gravelius presenta un valor de 1.07, cuando este factor es igual a 1 la cuenca tiene forma circular. (CORPOANDES, 1993).

El cauce principal posee ramificaciones únicamente de primer orden con un recorrido de 1 km. La densidad de drenaje es de 0.70 km/km<sup>2</sup>, es decir que existen 0.70 km de cursos de agua por cada km<sup>2</sup> de la microcuenca; lo que implica que la velocidad de respuesta del escurrimiento superficial es relativamente bajo (respuesta hidrológica lenta).

La diferencia de elevación de la microcuenca es de 1:400 m (3.600 m - 2.200 m), mientras que la diferencia de elevación del cauce es de 550 m (3.060 m - 2.500 m). La elevación media de la microcuenca es de 3.015 m con una pendiente de 44.6% que influye en la velocidad de las aguas de escurrimiento, convirtiéndole en una microcuenca con una alta torrencialidad.

Análisis sobre la curva hipsométrica realizados por CORPOANDES (1993), indican que el comportamiento del balance hídrico cambia a partir de los 3.040 msnm, siendo este parámetro un indicativo importante para el suministro del recurso agua. La forma de esta curva también señala que el 50% del área de drenaje está comprendida por encima de la elevación mediana y la cuenca baja de la quebrada es poco extensa, dominada por laderas abruptas.

La orientación de la microcuenca es de norte a sur, estando en posición de solana, lo cual tiene relación directa con el comportamiento de la insolación, temperatura, vientos, evaporación, evapotranspiración y precipitación.

## **Suelos**

Con base en observaciones realizadas en campo, los materiales de origen de los suelos de la microcuenca, a pesar de su reducida extensión y de la poca variabilidad geomorfológica, pueden identificarse ~~suelos residuales y suelos transportados.~~

### **Suelos Residuales**

En el área de estudio los suelos desarrollados a partir de materiales residuales (suelos de vertiente) ocupan la mayor porción del área, superior a 85%. Su característica principal son las pendientes fuertes, que son mayores a 35%. Estos suelos son, en general, de poco desarrollo, pues su principal limitante, la pendiente, impide su proceso de formación, a lo cual 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 gruesos. Así la intervención de estos suelos para el uso agropecuario conlleva, entre sus primeras acciones de laboreo, el despiedre. Las texturas varían desde areno-francosas hasta franco arcillosas y arcillosas.

### **Suelos Transportados**

Por su parte, los suelos formados a partir de materiales transportados y depositados en los fondos del valle en forma de flujos de barro, conos de deyección y terrazas, ocupan menos del 15% de la superficie del área.

Estos suelos son de textura franco arcillosa, con alta pedregosidad en el perfil y con drenaje interno rápido; se presentan condiciones topográficas que permiten el laboreo bajo determinadas condiciones de manejo.

En la actualidad, estos suelos, al igual que los suelos residuales, se utilizan para la producción de hortalizas bajo riego por aspersión. La erosión que se presenta es laminar en grado ligero a moderado, siendo probablemente las causas principales de dicha erosión las altas pendientes.

## **Tipos de tierras por capacidad de uso**

De acuerdo a CORPOANDES (1993), los tipos de tierra por capacidad de uso en la zona de estudio son:

*Clase VII.* Se presenta por encima de los 2.800 msnm con pendientes mayores del 60%, lo cual significa una limitación topográfica para el laboreo de estas tierras.

Igualmente se dan limitaciones por bajas temperaturas y por escaso desarrollo del perfil del suelo, por lo que se recomienda mantenerlos bajo vegetación protectora que asegure la estabilidad de los suelos y contribuya a la conservación de las nacientes de agua y la vida silvestre.

*Clase VI.* Se encuentran ubicados entre los 2.400 y 2.800 msnm en ambos lados de la carretera Transandina con pendientes entre 25 y 40% y temperatura ambiental por debajo de los 15° C.

*Clase IV.* Se localizan principalmente en las áreas de depósitos aluviales y presentan pendientes entre 15 y 25%. Estos suelos pueden ser destinados para el uso agrícola ocasional con tecnología tradicional mejorada y uso agrícola permanente como el riego por aspersión con el establecimiento de prácticas sencillas de conservación de suelos.

## **Uso actual de la tierra**

Los usos agrícolas y pecuarios se ubican aproximadamente por debajo de los 3.200 msnm y consisten en cultivos anuales de piso alto: papa, zanahoria, ajo; fresa, repollo, cebollin y pastizales introducidos para ganadería de leche en forma extensiva. (CORPOANDES, 1993).

El 82.55 % de la superficie total de la cuenca de la quebrada La Grande se encuentra bajo la figura de Área Bajo Régimen de Administración Especial (ABRAE), el Parque Nacional Juan Pablo Peñaloza, bajo el decreto N° 2716 del 18 de enero de 1989, según Gaceta Oficial 34168 del 31 de enero de 1989. Es preciso acotar que antes de la declaratoria del parque, existían actividades agrícolas las cuales se manifiestan actualmente pero de manera controlada, dada la figura legal que cubre dicho espacio, quedando fuera del parque básicamente las áreas más intervenidas por las actividades agrícolas, localizadas por debajo de la cota de los 2.800 msnm.

Según Rivera (1996), las siguientes categorías de usos de la tierra están presentes en la zona de estudio:

*Zonas agrícolas:* Se agrupan tierras para cultivos de ciclo corto de alta rentabilidad, bajo riego por aspersión y que cubren aproximadamente el 11.30% de la superficie (Tabla 2).

*Pastos naturales:* Incluye vegetación herbácea utilizada para pastoreo extensivo y abarca una superficie de 29.90% (Tabla 2).

*Vegetación natural:* Constituida por vegetación arbórea cuyo tipo dominante varía de un lugar a otro en altura y densidad. Dentro de éstos se distinguen: Matorral bajo denso y Matorral bajo ralo.

Tabla 2. Uso actual de la tierra. Microcuenca: "Zarzales - La Grande" (CORPOANDES 1993; Rivera, 1996)

<b>Uso actual de la tierra</b>		
<b>Tipos de Uso</b>	<b>Superficie (ha)</b>	<b>%</b>
Tierras agrícolas	282,20	11,30
Pastizales	748,50	29,90
Matorral bajo denso	285,40	11,40
Matorral bajo ralo	206,00	8,20
Bosque bajo denso	2,80	0,11
Bosque bajo med. denso	3,10	0,12
Bosque alto denso	172,50	6,90
Bosque de galería	534,10	21,30
Plantaciones forestales	8,10	0,30
Zonas de páramo	264,30	10,50
<b>Total</b>	<b>2507,00</b>	<b>100,03</b>

### **Actividad agrícola**

El área de estudio se caracteriza por constituir una zona de alta producción agropecuaria, especialmente orientada al cultivo de hortalizas, tubérculos y a la ganadería de vacunos.

La actividad agrícola se desarrolla en pendientes moderadamente pronunciadas a pronunciadas, en el piso altitudinal comprendido entre los 2.200 a 3.400 msnm y fundamentalmente a lo largo del pequeño valle, cruzado por quebradas que sirven de drenajes y de los cuales se obtiene agua para riego. Estas quebradas son: Los Zarzales, El Rincón, Portachuelo, La Aguadita y La Grande (Hernández, 1996).

Con base en la Tabla 3, dentro de la microcuenca existe un total de 51 fincas, con tamaños promedios de las fincas que varían entre 5.0 ha a mayores de 15.0 ha, parcelas con una superficie entre 0.1 a 5 ha predominan en un 56%. El régimen

predominante de la tenencia de tierra es el de propietarios en aproximadamente un 55% y el de medianeros en un 33%, éstos generalmente comparten los gastos de producción con el propietario o arrendatario. El 12% restante corresponde a los ocupantes de tierras y otros, los cuales aprovechan las tierras públicas y privadas sin pagar arrendamiento directo por la explotación de las mismas, e incluso algunos de ellos viven fuera del área dejando personas como encargadas de las fincas (Hernández, 1996).

Tabla 3. Tamaño de las fincas y tenencia de tierra en la microcuenca: "Zarzales - La Grande" (Elaboración propia en base a datos de Hernandez, 1996).

TAMAÑO DE LAS FINCAS (ha)	%	TENENCIA DE LA TIERRA	%
0-5	56,00	Propietario	55,00
5-10	28,00	Medianero	32,50
10-15	8,00	Ocupante	7,50
> 15	8,00	Otro	5,00
<b>TOTAL</b>	<b>100,00</b>		<b>100,00</b>

De acuerdo a los datos del Ministerio de Agricultura y Cría (1995), citado por Sándia (1995), los rubros cultivados en el Municipio Rivas Dávila aportan el 19,8% de la producción de éstos en el estado Mérida.

En cuanto a la participación de cada cultivo, las hortalizas ocupan el 49.3% de lo producido para el año 1995, le siguen la papa con 13,1% y otros cultivos. Dentro de las hortalizas se destacan la zanahoria con 17,8%, y el repollo con un 12,0%.

Así mismo, la actividad ganadera que se realiza en el área se caracteriza por ser de tipo semi-intensivo, con la utilización de ganado de alto rendimiento en pequeñas superficies de terreno.

### **Comercialización y organización para la producción**

La comercialización básicamente se realiza a través de los intermediarios que compran la producción en las mismas fincas, acopian cantidades significativas y transportan luego el producto a otras zonas principalmente San Cristóbal y Maracaibo. Esto implica que la producción está sujeta a exigencias de precios y tiempos previstos por esos mercados (CORPOANDES, 1993).

La ausencia de organizaciones para la comercialización de productos provenientes de la microcuenca y sus áreas vecinas favorece este tipo de relaciones

y dificulta el desarrollo de alternativas que de algún modo impliquen cambios en las características de la producción.

Las organizaciones representativas de la zona son el Comité de Riego y la Asociación de Vecinos.

### **Apoyo a la producción**

El mayor apoyo a la producción se refiere al financiamiento por vía crediticia. Varios agricultores solicitaron crédito al Instituto de Crédito Agrícola y Pecuário (ICAP) y banca privada, sin embargo confrontan problemás al respecto puesto que se otorgan créditos menores a los solicitados y ocurren demoras en la entrega de las partidas. La asistencia técnica se limita a las indicaciones de los expendedores de las casas comerciales. Por lo tanto la falta de una orientación técnica adecuada incide en las deficiencias tecnológicas observadas y los bajos rendimientos así como en la escasa motivación a la organización.

### **Infraestructura de apoyo a la producción**

La principal infraestructura de apoyo a la producción está representada por una serie de sistemás de riego que sirven tanto a los productores ubicados dentro de la microcuenca como a las áreas más alejadas. De hecho, de los tres principales cursos de agua que la conforman se surten 15 sistemás de riego, además del acueducto Las Playitas. Estudios realizados han determinado que existe una sobre utilización de la quebrada La Grande, por cuanto se estima una captación total de 83.23 L/s habiendo aforado en estiaje 40 L/s; esto implica que en los periodos de estiaje se hacen frecuentes los conflictos por uso de agua, a lo cual se añade la anarquía en los aprovechamientos, los cuales se han producido sin ningún ordenamiento hidráulico previo (CORPOANDES, 1993).

### **Características poblacionales y servicios básicos**

La Microcuenca Zarzales-La Grande abarca los sectores de La Grande, Mogotes, El Rincón, Portachuelo, Marmolejo, Río Arriba y La Escala, con una población estimada de 250 habitantes y una densidad de 9.97 hab/km<sup>2</sup>, dispersa en los sectores mencionados. Se observa en los sectores La Grande y el Rincón un predominio de población masculina en edad económicamente activa y con un alto grado de alfabetización. En los sectores de Portachuelo, Marmolejo y La Escala la población extranjera, especialmente de origen colombiano, es predominante y representa la mano de obra agrícola.

En lo referido a servicios básicos, la totalidad de las viviendas existentes dentro de la microcuenca de estudio son propias y pueden tipificarse como viviendas de paredes de bloque, techos de teja, tres habitaciones, agua corriente, electricidad

sanitarios. El servicio de salud, dentro de la microcuenca, se limita a un ambulatorio Tipo I, ubicado en Las Playitas, el cual presta servicios de primeros auxilios, consulta médica general, control prenatal y programa PAMI, cuenta con un personal conformado por un médico eventual y una enfermera permanente. También en Las Playitas se cuenta con una escuela que presta apoyo a la comunidad a través de la Junta de Vecinos, con la cual se ha realizado operaciones de limpieza, promoción deportiva y actualmente emprenden la tarea de dotar de una sala de computación a dicho establecimiento. Existe una disposición favorable de los docentes a participar en actividades de educación extraescolar y en particular en el área ambiental, sobre la cual sin embargo poseen muy poca formación.

La fuente principal de abastecimiento de agua para acueductos y sistemas de riego es la quebrada La Grande, la cual surte, además del acueducto Las Playitas, administrado por la alcaldía de Bailadores, varios sistemas de riego que son utilizados simultáneamente como acueductos. Esta situación se complica por el hecho de que aguas arriba de las tomas se produce contaminación por lavado de vaqueras, equipos y hortalizas, ya que no existe una discriminación de usos del agua, ni de las características que deben tener cada tipo de uso. El servicio de agua para consumo humano se ve afectado además por la competencia que implica el uso para riego, el cual compromete a futuro su disponibilidad real desde el punto de vista cuantitativo.

Aproximadamente el 95.5% de las viviendas poseen pozos sépticos en relativas condiciones, la recolección de residuos sólidos es realizada dos veces por semana por un camión de la alcaldía de Bailadores y luego es llevada a un botadero a cielo abierto en el sector San Felipe, vía Mérida, no obstante una proporción significativa la quema o entierra dentro de sus terrenos, incluyendo dentro de estos, residuos y envases de biocidas.

### **Síntesis del análisis de las condiciones naturales y socioeconómicas**

Del análisis realizado se puede resaltar que las principales limitaciones y potencialidades de la microcuenca, son las siguientes:

#### **Limitaciones**

- Tierras con limitaciones por pendiente, pedregosidad y fertilidad natural del suelo.
- Ocupación inadecuada de espacios con pendientes mayores al 35%.
- Carácter torrencial de la microcuenca lo que implica dificultades en su capacidad de aprovechamiento del agua precipitada.

- Ausencia de una política para el aprovechamiento sustentable del caudal de la quebrada La Grande.

- Posible contaminación física y química de los cursos de agua por efecto del uso de los agroquímicos.

- Ausencia de orientación técnica en las formás de aprovechamiento de los recursos.

- Intervención de las márgenes y cabeceras de los cursos de agua, con posible repercusión en la disminución de caudales.

- Ausencia organizativa para enfrentar los problemás referidas a la producción.

- Dotación insuficiente de servicios sanitarios , lo cual favorece los procesos de contaminación de aguas y suelos y los riesgos de afecciones a la población.

### **Potencialidades**

- La declaratoria como ABRAE del Parque Nacional Juan Pablo Peñaloza, y que cubre aproximadamente el 82.55% del total de la cuenca de quebrada La Grande.

- Existencia de un sistema de riego para fortalecer los procesos agropecuarios productivos de la zona.

- Alto porcentaje de alfabetización en la población económicamente activa.

- Disposición del personal docente de la microcuenca a participar en actividades de educación ambiental.

- Facilidad de acceso, vialidad interna.

### **Relación erosión-productividad**

#### **Experimentos en campo**

Para la cuantificación de los impactos de la erosión de suelos sobre la productividad en términos de reducción del rendimiento de los cultivos, se realizaron evaluaciones en parcelas comerciales seleccionadas en campo, bajo condiciones de

**erosión natural**, entendida está como un proceso continuo de arrastre y depósito de materiales a lo largo de las laderas generadas por el escurrimiento.

Las parcelas fueron seleccionadas en visitas a la zona de estudio, tomando la precaución de que el clima, las características genéticas del cultivo y el sistema de producción fueran similares. El número de parcelas comerciales seleccionadas fue de 5, repartiéndose de la siguiente manera: Parcela I, sector El Rincón cultivo de zanahoria; Parcela II, sector El Rincón Abajo cultivo de zanahoria; Parcela III, sector La Escala cultivo de zanahoria; Parcela IV, sector Portachuelo cultivo de zanahoria y Parcela V, sector Marmolejo cultivo de papa.

En cada una de las parcelas comerciales se establecieron tres tratamientos (unidades experimentales) con tres repeticiones cada una de ellas; los tratamientos fueron establecidos en función al grado de remoción natural del suelo (Figura 4).

En cada parcela experimental se delimitaron 9 unidades experimentales de 2 m<sup>2</sup>, obteniéndose un total de 45 unidades experimentales para toda la microcuenca.

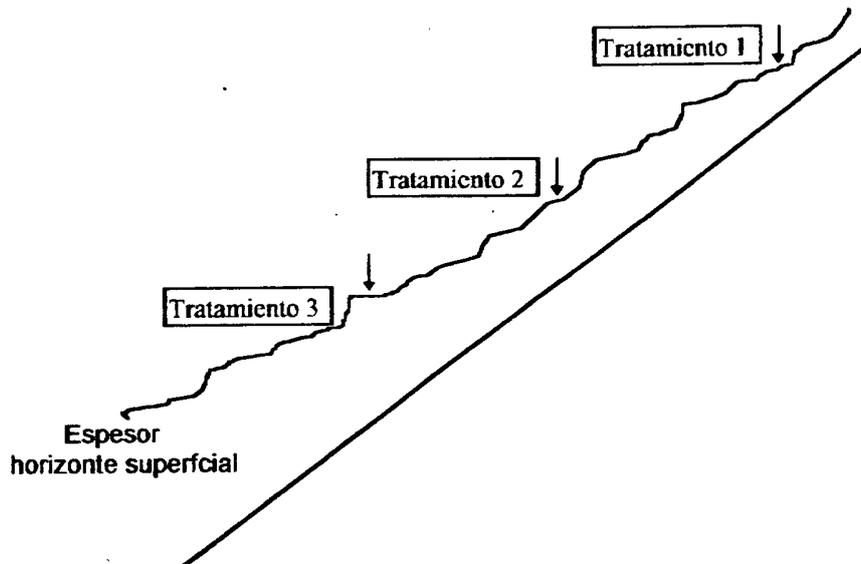
En cada tratamiento se determinaron en campo, las siguientes características físicas del suelo: espesor del horizonte superficial, para determinar la remoción natural del suelo por efectos erosivos, densidad aparente mediante el método del "agujero" y fragmentos gruesos a través de estimaciones volumétricas.

Luego se tomaron muestras de suelo de cada tratamiento y repetición, de aproximadamente 1 kg para someterlas al análisis de laboratorio, haciendo un total de 45 muestras. Los análisis físicos y químicos de las muestras de suelo recolectados en cada uno de los tratamientos y repeticiones, se realizaron en el Laboratorio de Suelos de FONAIAP-Mérida. Excepcionalmente los análisis de capacidad de almacenamiento de agua se realizaron en el Laboratorio de la Universidad de Los Andes (ULA). Estos análisis fueron desarrollados de acuerdo a las siguientes metodologías (ASA-SSSA, 1982):

**Análisis físicos:**

Determinaciones	Métodos
Textura (análisis mecánico)	Hidrómetro (Método de Bouyoucos)
Capacidad de campo	Ollas y membrana de presión (Método de Richards)
Punto de marchitez permanente	Ollas y membrana de presión (Metodo de Richards)

**Diagrama de ubicación de los distintos tratamientos  
en las unidades de producción comercial  
(perfil)**



**Parcela comercial  
(planta)**

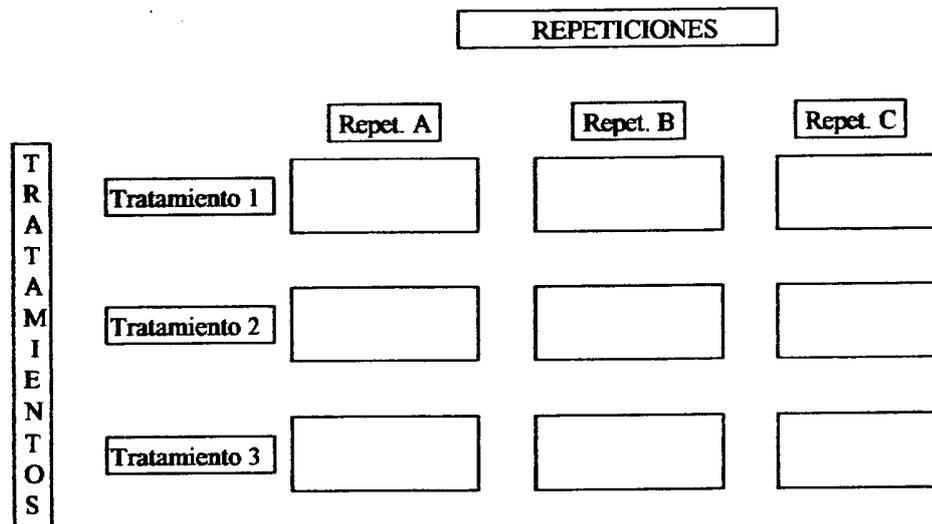


Figura 4. Diseño del diagrama de ubicación de los distintos tratamientos y sus repeticiones, tal como establecido en cada una de las parcelas comerciales.

## **Análisis químicos:**

<b>Determinaciones</b>	<b>Métodos</b>
pH (1:1) suspensión suelo-agua	Potenciómetro
Conductividad eléctrica	Puente de Wheastone
Cationes intercambiables	Fotómetro de Llama
Capacidad de intercambio cationico	Acetato de amonio pH 7
Materia orgánica	Combustión húmeda (Método de Walkley y Black)
Fósforo disponible	Método de Olsen

En las plantas de los cultivos de papa y zanahoria se determinaron las siguientes características: altura planta, peso tubérculo o raíz, número de tubérculos por planta, diámetro tubérculo y largo raíz. Todas estas determinaciones se la realizaron en 10 plantas al azar por repetición y en cada una de los tratamientos.

El grado de remoción natural del suelo en los tratamientos y repeticiones, fue determinado a través de la medición cuidadosa del espesor del horizonte superficial mediante observaciones con barrenos.

El rendimiento de los cultivos fue determinado para cada tratamiento y repetición al momento de la cosecha, mediante pesadas utilizando una balanza.

En cada parcela de investigación se realizó la apertura de calicatas para clasificarlas mediante la metodología de USDA (1982), los horizontes fueron identificados y descritos morfológicamente, según la metodología FAO (1978).

## **Cultivos utilizados en los experimentos**

Los cultivos evaluados fueron los siguientes:

Zanahoria (*Daucus carota L.*) variedad Calimar. Presenta una altura de 0.3 a 0.8 m, con hojas divididas de color verde oscuro en forma de penacho, raíz carnosa de color amarillo a rojizo, presenta una preferencia por clima templado y frío, es moderadamente resistente a la *Alternaria dauci* y *Cercospora carota*, con buen desarrollo en suelos francos moderadamente profundos (John, 1988).

Papa ( *Solanum tuberosum L.*) variedad Granola. El origen de la papa se ubica en la región andina del Perú, Bolivia y Chile. En Los Andes venezolanos es un cultivo de gran importancia desde los 1.200 a 3.500 msnm sobre pendientes desde el 4 al 40%. La variedad granola es recomendada para la región de Los Andes básicamente por ser una variedad resistente al *Phytophthora infestans* y *Meloidogyne spp* de común ocurrencia en la zona. Entre sus características se tiene una altura

entre 0.6 a 0.8 m el desarrollo del tubérculo comienza de 5 a 7 semanas después de la siembra y su ciclo vegetativo dura entre 90 y 120 días, se le considera una variedad de maduración tardía (Guzmán, 1988; citado por López, 1994).

### **Características técnicas del proceso productivo**

#### **Preparación de tierras**

Para la preparación de tierras se utilizaron arados con tracción animal. La mayoría de los productores son propietarios de yuntas, ya que éstas constituyen el equipo adecuado para las condiciones de suelo y pendientes predominantes en la zona.

La preparación, básicamente, consistió en un pase de arado con tracción animal y 2 pases de rastra liviana en contra de la pendiente. La realización de surcos se realizó para el cultivo de zanahoria mediante bueyes y en forma manual para el cultivo de papa.

El suelo se preparó con suficiente antelación a la siembra para que los restos de cosecha y maleza fuesen incorporados al suelo.

#### **Siembra**

En la zona no existen épocas definidas de siembra debido a la existencia de sistemas de riego y a condiciones climáticas relativamente favorables a lo largo del año. A los fines de esta investigación, la siembra se realizó durante la primera quincena del mes de abril. La siembra del cultivo de zanahoria se realiza "al voleo" en bancales. La cantidad de semilla/ha varía de acuerdo al porcentaje de germinación, el peso de la semilla y la distancia de siembra principalmente. En promedio se utilizan 2.5 kg/ha. La germinación es bastante lenta e irregular, la profundidad de siembra aproximadamente es de 2.0 cm. A los 20 días después de la germinación se realiza un raleo.

Por otra parte la siembra del cultivo de la papa se efectuó en forma manual con una distancia entre surcos de 0.6 m y entre plántulas de 0.3 m, para una densidad de siembra de aproximadamente 55.555 plantas/ha. Los productores utilizaron semilla certificada para el cultivo de la zanahoria y semilla seleccionada de fincas vecinas para el cultivo de la papa.

#### **Fertilización**

Se aplicó fertilizante fórmula 12-24-12, a los 45 días después de la siembra, aproximadamente 15 sacos de 50 kg, lo que equivale a 0.75 t/ha. Esta aplicación no

obedece necesariamente a las condiciones del suelo, puesto que no se acostumbra realizar análisis de fertilidad.

Las cantidades aplicadas de abono orgánico en promedio es de 1 t/ha para el fertipollo y de 10 t/ha para el gallinazo.

### **Control de plagas y enfermedades**

El control de plagas y enfermedades prácticamente se realizó mediante la aplicación de agroquímicos. Las cantidades utilizadas durante todo el ciclo del cultivo fueron de 40 kg/ha de Dithane y 6 kg/ha de Curacin, dosificadas en 8 aplicaciones.

Estas aplicaciones se realizan para combatir al *Liriomyza spp*, *Phytophthora infestans* y *Meloidogyne spp* en el cultivo de la papa, y a la *Alternaria dauci* y *Cercospora carota* en la zanahoria, principalmente.

### **Cosecha**

Esta actividad se realizó la primera quincena de agosto. En el cultivo de la zanahoria, las plantas se arrancan a mano y van siendo clasificadas en el campo, lugar donde se clasifican, se le quitan las hojas y se embolsan para ser transportadas. La cosecha del cultivo de la papa se realizó cuando el follaje alcanzó un 60% de amarillamiento. Una vez desenterrada la papa, ésta se selecciona en función al tamaño en papa de primera y segunda, para posteriormente embolsarla.

### **El modelo Índice de Productividad**

El modelo Índice de Productividad tal como es utilizado en el presente trabajo de investigación fue desarrollado por Delgado (1989), y básicamente consiste en una modificación del IP desarrollada inicialmente por Neill (1979), con modificaciones posteriores efectuados por Pierce et al (1983) y adaptaciones hechas por Delgado (1989), y Delgado y López (1995).

El modelo tiene la forma general siguiente:

$$IP = \sum_{i=1}^n (A_i * B_i * C_i * K_i)$$

Donde:

IP = Índice de productividad del suelo (0-1).

A<sub>i</sub> = Suficiencia de las relaciones agua-aire del horizonte i (0-1)

- Bi = Suficiencia de facilidad para la exploración radical del horizonte i (0-1)
- Ci = Suficiencia de fertilidad potencial del horizonte i (0-1).
- Ki = Ponderación del horizonte i (0-1).
- n = Número de horizontes en el perfil del suelo hasta 100 cm.

El modelo asume que los primeros 100 cm del suelo son fundamentales para determinar su capacidad productiva especialmente cuando se trata de cultivos anuales en los cuales el crecimiento radical difícilmente supera esta profundidad.

Cada uno de los parámetros considerados por el modelo es evaluado en cada uno de los diferentes horizontes morfogénicos del suelo estudiado hasta 100 cm de profundidad y en la escala de 0-1, correspondiendo el valor de 1 a la condición de parámetro que más favorezca el crecimiento radical.

A su vez, los parámetros A, B y C se evalúan con dos subparámetros:

*Parámetro A:*

- A1 = Evalúa la capacidad de almacenamiento del agua
- A2 = Evalúa condiciones que favorecen la aireación del suelo.

*Parámetro B:*

- B1 = Evalúa las condiciones de compactación del suelo
- B2 = Evalúa el contenido de fragmentos gruesos

*Parámetro C:*

- C1 = Evalúa la reacción del suelo
- C2 = Evalúa la saturación con aluminio intercambiable.

Para calcular el valor de IP se toma en consideración solamente el subparámetro más limitante. Cada parámetro se evalúa en función del subparámetro respectivo más limitante; es decir, el parámetro adquiere el valor del subparámetro que tenga el menor valor de suficiencia en la escala de 0-1.

**Parámetro A**

Este parámetro evalúa básicamente las relaciones agua-aire del horizonte respectivo. El modelo asume que tales relaciones quedan establecidas si se definen dos características físicas fundamentales: la capacidad de almacenamiento de agua y la aireación del suelo. El parámetro A por lo tanto se evalúa a través de los siguientes subparámetros:

### **Subparámetro A1**

Está relacionado con la microporosidad del suelo, la cual a su vez determina la capacidad de almacenamiento de agua aprovechable. Por lo tanto, el subparámetro A1 se determina en este modelo a partir de las mediciones en laboratorio de agua retenida a succiones de -33 y 1500 Kpa, siguiendo la metodología de Richards (1956), citado por Delgado (1995).

La ecuación de suficiencia del subparámetro A1 es la siguiente:

$$A1 = 0.55W; \quad 0 \leq W \leq 20 \quad (W=20 \text{ si } W > 20)$$

donde:

A1 = Es la suficiencia de almacenamiento de agua útil (0-1)

W = Es el contenido gravimétrico (%) de agua útil.

### **Subparámetro A2**

Está relacionado con la macroporosidad del suelo, la cual determina a su vez la capacidad de aireación. Para inferir esta cualidad el modelo utiliza el contenido de arcilla en función de la estructura del suelo.

Para suelos con estructura débil:

$$\text{Si arcilla} \leq 20\% \quad A2 = 1.0 - 0.01 (\text{arc})$$

$$\text{Si arcilla} > 20\% \quad A2 = 1.2 - 0.02 (\text{arc})$$

Para suelos con estructura moderada:

$$\text{Si arcilla} \leq 30\% \quad A2 = 1.0 - 0.0066 (\text{arc})$$

$$\text{Si arcilla} > 30\% \quad A2 = 1.3 - 0.0160 (\text{arc})$$

Para suelos con estructura fuerte:

$$\text{Si arcilla} \leq 40\% \quad A2 = 1.0 - 0.0050 (\text{arc})$$

$$\text{Si arcilla} > 40\% \quad A2 = 1.3 - 0.0133 (\text{arc})$$

donde:

A2 = Es la suficiencia de contenido de arcilla en función de la estructura del suelo (0-1)

arc = Es el contenido de arcilla (%).

## **Parámetro B**

Este parámetro evalúa las condiciones de suelo que favorecen la exploración radical del cultivo. El modelo considera que esta cualidad está determinada por dos características relacionadas con dos tipos de obstáculos físicos al crecimiento de las raíces, la compactación del suelo y el contenido de fragmentos gruesos. El parámetro B se evalúa a través de los siguientes subparámetros:

### **Subparámetro B1**

Está relacionado con la compactación del suelo la cual puede cuantificarse midiendo la densidad aparente y relacionándola con la granulometría respectiva.

Las ecuaciones de suficiencia para el Subparámetro B1 son las siguientes:

Para texturas finas (arcillosas, limosas finas):

$$\begin{array}{ll} \mathbf{B1 = 3.6-2 (Da)} & \mathbf{1.30 \leq Da \leq 1.40} \\ \mathbf{B1 = 9.6-6 (Da)} & \mathbf{1.40 < Da \leq 1.60} \end{array}$$

Para texturas medias (francas, limosas gruesas):

$$\begin{array}{ll} \mathbf{B1 = 1.87-0.67 (Da)} & \mathbf{1.30 \leq Da \leq 1.55} \\ \mathbf{B1 = 6.00-3.33 (Da)} & \mathbf{1.55 < Da \leq 1.80} \end{array}$$

Para texturas gruesas (francas gruesas, arenosas):

$$\begin{array}{ll} \mathbf{B1 = 1.52-0.4 (Da)} & \mathbf{1.30 \leq Da \leq 1.80} \\ \mathbf{B1 = 8.00-4.0 (Da)} & \mathbf{1.80 < Da \leq 2.00} \end{array}$$

donde:

B1 = Es la suficiencia de densidad aparente (0-1)  
Da = Es la densidad aparente del suelo (Mg/m<sup>3</sup>)

### **Subparámetro B2**

Está relacionado con el contenido volumétrico de fragmentos gruesos, es decir aquellos con diámetro equivalente superior a 2 mm. La evaluación de este parámetro se hace conjuntamente con la capacidad explorativa de las raíces del cultivo considerado. Esta capacidad depende de la facilidad con la cual las raíces exploran los espacios entre fragmentos en busca del agua y los nutrientes.

La ecuación de suficiencia del subparámetro B2 es la siguiente:

$$B2 = (1-f)^r$$

donde:

B2 = Es la suficiencia del contenido de fragmentos gruesos (0-1)

f = Es el volumen de fragmentos gruesos (fracción)

r = Es el coeficiente de capacidad explorativa de las raíces.

r	CAPACIDAD EXPLORATIVA	TIPO DE CULTIVOS
1,20	Baja	Tubérculos, hortalizas de hoja y raíz
0,80	Moderada	Cereales, leguminosas, oleaginosas
0,60	Alta	Pastos
0,40	Muy alta	Arboles

### Parámetro C

Este parámetro evalúa condiciones relacionadas con la fertilidad potencial del suelo. El modelo asume que esta cualidad está determinada fundamentalmente por dos características químicas importantes en suelos tropicales: la reacción del suelo y la presencia de aluminio intercambiable.

#### **Subparámetro C1:**

Está relacionado con las condiciones de acidez o alcalinidad del suelo. Los valores de pH se refieren a mediciones en el extracto de saturación suelo-agua en relación 1:1. Las ecuaciones de suficiencia del subparámetro C1 se dan a continuación:

<b>C1 = 0</b>	<b>si</b>	<b>pH &lt; 2.8</b>
<b>C1 = 0.50 (pH)-1.36</b>	<b>si</b>	<b>2.8 ≤ pH ≤ 4.5</b>
<b>C1 = 0.45+0.1 (pH)</b>	<b>si</b>	<b>4.5 &lt; pH ≤ 5.5</b>
<b>C1 = 1</b>	<b>si</b>	<b>5.5 &lt; pH ≤ 7.0</b>
<b>C1 = 1.905-0.13 (pH)</b>	<b>si</b>	<b>7.0 &lt; pH ≤ 8.5</b>
<b>C1 = 4.2-0.4 (pH)</b>	<b>si</b>	<b>8.5 &lt; pH ≤ 10.5</b>
<b>C1 = 0</b>	<b>si</b>	<b>pH &gt; 10.5</b>

donde:

C1 = Es la suficiencia de pH del suelo (0-1)

pH = Es el pH en el extracto suelo-agua, relación 1:1

## **Subparámetro C2**

Está relacionado con la presencia de aluminio intercambiable en el suelo y el contenido de materia orgánica.

Las ecuaciones de suficiencia para el subparámetro C2 se citan a continuación:

Quando la materia orgánica es  $\geq 4\%$

$$\begin{array}{ll} \text{Si SA} \leq 40\% & \text{C2} = 1 \\ \text{Si SA} > 40\% & \text{C2} = 1.666 - 0.01666 (\text{SA}) \end{array}$$

Quando la materia orgánica está entre 2.5 y 4%

$$\begin{array}{ll} \text{Si SA} \leq 35\% & \text{C2} = 1.0033 - 0.000666 (\text{SA}) \\ \text{Si SA} > 35\% & \text{C2} = 1.55 - 0.01625 (\text{SA}) \end{array}$$

Quando materia orgánica está entre 1.0 y 2.5%

$$\begin{array}{ll} \text{Si SA} \leq 30\% & \text{C2} = 1 - 0.001 (\text{SA}) \\ \text{Si SA} > 30\% & \text{C2} = 1.429 - 0.0157 (\text{SA}) \end{array}$$

Quando la materia orgánica es menor que 1.0%

$$\begin{array}{ll} \text{Si SA} \leq 25\% & \text{C2} = 1 - 0.001 (\text{SA}) \\ \text{Si SA} > 25\% & \text{C2} = 1.3 - 0.015 (\text{SA}) \end{array}$$

donde:

- C2 = Es la suficiencia de saturación con aluminio en función de la materia orgánica (0-1)
- SA = Es la saturación con aluminio (%)

## **Factor de ponderación Ki**

El modelo establece que no todos los horizontes tienen la misma importancia relativa para determinar la productividad del suelo. Esto dependerá tanto de la ubicación en el perfil del horizonte del suelo como del espesor del horizonte considerado en relación al resto de los horizontes del suelo estudiado. Teóricamente los horizontes superficiales tienen mayor importancia que los horizontes subsuperficiales. Sin embargo, un horizonte superficial de poco espesor puede tener relativamente menor importancia que otro un poco más profundo pero de mayor

espesor; ambas consideraciones deben establecerse para evaluar la importancia relativa o factor de ponderación de cada uno de los horizontes considerados.

El factor de ponderación ( $K_i$ ), se calcula con la siguiente ecuación:

$$K_{acum} = 0.024x^{0.82}$$

donde:

$K_{acum}$  = es el factor de ponderación acumulado hasta el horizonte  $i$

$x$  = es la profundidad máxima del horizonte  $i$

### Ejemplo de determinación del índice de productividad

A continuación se muestra un ejemplo para un suelo de 2 horizontes con una profundidad efectiva de 50 cm y con un cultivo hortícola, para alimentar y hacer correr el modelo IP en un computador compatible. Los valores resaltados con negrilla, son los introducidos por el usuario.

-Cálculo del Índice de productividad

Nº horizontes = 2

-Datos correspondientes a: Horizonte (cm)

Hor.	Inf	sup
1	0-	<b>31</b>
2	<b>31-</b>	<b>50</b>

-Datos correspondientes a: Agua útil (%)

N	Valor
1	<b>21.0</b>
2	<b>14.0</b>

-Datos correspondientes a: Arcilla (%)

N	Valor
1	<b>26.0</b>
2	<b>30.4</b>

-Datos correspondientes a: Estructura

N	Valor
1	<b>2</b>
2	<b>1</b>

Débil.....1  
Moderada..2  
Fuerte.....3

-Datos correspondientes a: Clase textural

N	Valor
1	<b>2</b>
2	<b>2</b>

Fina.....1 (arcillosas, limosas finas)  
Media....2 (francas, limosas gruesas)  
Gruesa..3 (francas gruesas, arenosas)

-Datos correspondientes a: Densidad aparente ( $Mg/m^3$ )

N	Valor
1	<b>1.09</b>
2	<b>1.37</b>

-Datos correspondientes a: Fragmentos gruesos (fracción)

N	Valor
1	0.26
2	0.36

-Datos correspondientes a: pH

N	Valor
1	7.1
2	6.3

-Datos correspondientes a: Materia orgánica (%)

N	Valor
1	9.21
2	6.25

-Datos correspondientes a: Saturación con Al (%)

N	Valor
1	0.04
2	0.00

-Profundidad a roca o nivel freático (cm) = 50

-Capacidad explorativa de las raíces=1

Baja.....	1
Moderada....	2
Alta.....	3
Muy alta.....	4

-Calculo del índice de productividad

Nro	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
N	HOR	AGUA	ARC	EST	CLASE	DA	FRAC	pH	M-ORG	ALUM
1	31	21.	26.	2	2	1.08	.26	5.6	8.0	0.
2	50	14.	30.	1	2	1.40	.36	6.3	7.0	0.

(11) Prof. A roca o nivel freático =50

(12) cap. Exp. Raíces =1

Continua/modifica

La opción modificar, es para corregir algún valor que este mal introducido.

Si se selecciona la opción continuar inmediatamente el programa nos presenta el IP calculado, que para nuestro ejemplo es IP = 0.29.

Los valores de IP obtenidos fueron clasificados con base en rangos tentativos, propuestos por Delgado (1995).

Tabla 4. Clasificación tentativa de los suelos por su índice de productividad (Delgado, 1995).

Índice de productividad (IP)	Productividad del suelo
< 0.10	Muy baja
0.10-0.20	Baja
0.20-0.40	Media
0.40-0.60	Alta
> 0.60	Muy alta

El modelo IP también nos presenta valores de tolerancia del suelo para un horizonte de planificación determinado y a su vez la curva de Vulnerabilidad del suelo, relacionando suelo removido (cm) vs índice de productividad (IP).

### **Determinación de riesgos de erosión con fines de planificación**

El riesgo de erosión es entendida como la máxima pérdida de suelo que puede ocurrir, cuando un suelo se encuentra sin cobertura y sin ninguna práctica de conservación y ha sido arado siguiendo la dirección de la pendiente. Páez (1994) señala que el riesgo de erosión depende solamente de los factores físicos: clima, topografía y propiedades del suelo.

La evaluación del riesgo de erosión hídrica en las parcelas comerciales, con fines de planificación agrícola, se realizó usando valores de la Ecuación Universal de Pérdida de Suelo (USLE), siguiendo el criterio de CP max descrito por Páez (1989). La tolerancia del suelo fue determinada mediante el modelo IP (Delgado y López 1995).

El criterio de CP max es definido como el potencial de erosión y expresa 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 (Páez, 1989c)

### **Erosividad (Factor R)**

La erosividad de la lluvia media para la zona de estudio, se expresa a través de la sumatoria de valores de  $EI_{30}$  de tormentas individuales erosivas ocurridas en un año y es expresado en  $Mj*mm/ha*h*año$ . El valor de R utilizado en el estudio es reportado por Cevallos con un valor de 1281.6 (comunicación personal).

### **Erosionabilidad (Factor K)**

El factor K fue determinado mediante el nomograma de Wischmeier, Johnson y Cross (1971) reportado por Troeh, Hobbs y Donahue (1980), utilizando las siguientes características y propiedades del suelo: % arena, % materia orgánica, %limo+arena muy fina, estructura y permeabilidad.

### **Topografía (Factor LS)**

La ecuación para estimar el factor LS en función de la longitud de la pendiente en metros (l) y su gradiente en % (s), según la pendiente son citados por Wischmeier y Smith (1978):

Pendiente menor de 20%:

$$LS = (l/22)^m \cdot (0.065 + 0.045(s) + 0.065(s)^2)$$

Pendientes mayores de 20%:

$$LS = (l/22)^m \cdot (0.065 + 4.56(\text{sen } \phi) + 65.41 \text{ sen}^2 \phi)$$

donde:

m = exponente que varía con el gradiente del declive, en el estudio m=0.5.

### **Cobertura (Factor C) y prácticas de manejo (Factor P)**

Los factores C y P fueron determinados con base en tablas propuestas por Wischmeier y Smith (1978), Delgado (comunicación personal).

### **Tolerancia de pérdida de suelo**

La tolerancia de pérdida de suelo se determinó mediante el modelo IP, para valores dados de pérdida de productividad permisible ( $\delta$ ) y horizonte de planificación (H).

Ejemplo de la determinación de T (Mg/ha/año), basado en los datos utilizados en el ejemplo de determinación del IP.

-Pérdida de productividad permisible (%) =10

-Horizonte (años) =100

$$\text{Tolerancia} = 5.66 \text{ (Mg/ha/año)}$$

### **Riesgo de erosión**

El riesgo de erosión depende sólo de los factores físicos: clima, topografía y suelo. Se expresa como  $A_{\max} = R \cdot K \cdot LS$  (Mg/ha/año)

### **Riesgo de erosión actual**

Considera el efecto protector del uso de la tierra, para determinar el riesgo de erosión actual se utilizó la ecuación:  $A_{ua} = R \cdot K \cdot LS \cdot CP_{ua}$  (Mg/ha/año)

### **Diseño de las alternativas de uso**

Para el diseño de las alternativas de prácticas de conservación fundamentado en el criterio de el  $CP_{max}$  se utilizaron los valores de la Ecuación Universal de Pérdida de suelo y del modelo IP.

La ecuación utilizada fue:  $CP_{max} = T / (R * K * LS)$

### **Análisis estadístico**

La información generada en la investigación fue sometida a un análisis estadístico, con el objetivo de caracterizar la serie de datos con base en promedios aritméticos, varianza, coeficiente de variación, análisis de correlación, regresión y pruebas de significación. Estos análisis fueron realizados mediante los paquetes estadísticos de computación, Microstat y Static para ambiente Windows.

A las variables espesor del horizonte superficial, rendimiento de los cultivos, e índice de productividad, se le determinaron los siguientes estadísticos: promedio aritmético, varianza, coeficiente de variación y la prueba de medias de Newman-Keuls para rectificar diferencias significativas.

Se establecieron relaciones de dependencia entre el espesor del horizonte superficial - rendimiento e índice de productividad - rendimiento, utilizando el análisis de correlación.

### **Análisis costos-beneficios**

Se analizaron los costos y beneficios de la situación con prácticas de conservación para el control de la erosión hídrica y sin prácticas de conservación para cada una de las parcelas.

Para el análisis económico de la situación sin proyecto el valor de beneficio neto se determinó mediante la restá de: (costos de producción-beneficio bruto).

Para la situación con proyecto el valor de beneficio neto se obtuvo de la restá de ((costos de inversión+costos de mantenimiento+costos de producción) - beneficio bruto).

## CAPITULO 4

### RESULTADOS Y DISCUSIÓN

#### Características de los suelos estudiados

Por la descripción de los perfiles representativos de los suelos estudiados y por las características físicas y químicas de los cuatro suelos que han sido objeto de estudio y evaluación, se establece que cada uno de ellos es el producto de la interacción de los factores formadores del suelo con diferencias resaltantes en función al material parental y la topografía, principalmente. Estas diferencias se reflejan en las características particulares de los suelos resultantes y con su capacidad de recuperación ante los efectos de la erosión.

A continuación se presenta una interpretación de la información del análisis físico y químico, contenida en la Tabla 5.

#### Características físicas

##### **Textura**

Los cuatro suelos estudiados presentan texturas muy similares, con el predominio de texturas medias a gruesas (Fa - FAa)

##### **Densidad aparente**

La densidad aparente de los suelos estudiados presenta valores moderados a bajos considerando sus clases texturales. Estos valores de densidad se pueden relacionar con el alto contenido de materia orgánica. A medida que aumenta el contenido de materia orgánica en el suelo, disminuye la densidad aparente, siendo este efecto más marcado en suelos de textura gruesa.

##### **Retención de humedad**

Los valores de retención de agua obtenidos a presiones de -33 y - 1500 KPa muestran diferencias ligeramente superiores al 10%. Según Pla (1977), citado por López (1994) capacidades de almacenamiento de agua inferiores al 10% son muy bajos para agricultura de secano e incluso para agricultura de riego bajo los métodos tradicionales. No se prevén mayores limitaciones en relación a esta característica física para los suelos estudiados.

Tabla 5. Características físicas y químicas de los suelos estudiados

Localidad	Taxonomía	Horizonte	Espesor (cm)	Granulometría			Textura	Almacenamiento de humedad	
				arena (g/kg)	limo (g/kg)	arcilla (g/kg)		0.033 MPa	1.5 MPa
El Rincon	Lithic troporthent	Ap	0-38	500	196	304	FAa	407	185
		C	38-83	520	176	304	FAa	299	150
Marmolejo	Lithic troporthent	Ap	0-35	500	176	324	FAa	305	153
		C1	35-38	540	156	304	FAa	277	130
		Ab	38-66	600	116	284	FAa	227	122
Portachuelo	Typic humitropept	Ap	0-32	460	224	316	FAa	343	181
		B	32-58	440	164	396	FA	282	181
		B/C	58-73	380	204	416	A	281	161
		C1	73-94	460	204	336	FAa	270	136
		C2	94-115	640	184	176	Fa	181	80
		C3	115-	440	144	416	A	254	187
La Escala	Typic humitropept	Ap	0-18	420	236	344	FA	314	172
		B	18-34	420	176	404	A	306	177
		C1	34-64	400	176	424	A	258	145

continua Tabla 5.

Localidad	pH (H <sub>2</sub> O)	MO (%)	Al (mg/kg)	P (mg/kg)	K (mg/kg)	Ca (mg/kg)	Mg (mg/kg)
El Rincon	6.7	5.29	-	143	51	3857	604
	6.3	4.09	-	149	33	1072	46
Marmolejo	6.0	8.67	-	154	208	1281	75
	5.8	6.73	-	161	70	847	73
	5.7	4.85	-	154	70	612	71
Portachuelo	6.2	5.20	-	71	70	1068	89
	5.1	3.58	34.65	-	147	323	57
	5.0	2.66	64.35	-	472	129	73
	4.8	1.49	45.54	-	-	125	84
	4.7	0.94	49.50	-	-	110	59
	4.0	3.78	-	-	108	125	80
La Escala	5.2	5.20	-	143	70	1121	43
	5.3	5.44	-	143	51	509	98
	3.8	3.80	89.10	-	128	182	71

### **Profundidad efectiva**

Los cuatro tipos de suelo estudiados se ubican entre los 2.500 a 2.600 msnm y en formación colino-montañosa. La profundidad efectiva de los suelos de El Rincón y Marmolejo presentan limitaciones por la presencia de un horizonte C a los 0.50 m de profundidad aproximadamente, con presencia de pedregosidad en superficie y horizontes inferiores. En cambio los suelos de Portachuelo no presentan limitación de pedregosidad en la superficie ni horizontes subsuperficiales. Así mismo la profundidad efectiva se encuentra aproximadamente a 0.80 m. En los suelos de La Escala el horizonte C se encuentra a los 0.60 m.

### **Pedregosidad**

Todos los suelos, exceptuando los de La Escala y Portachuelo, presentan altos porcentajes de pedregosidad 25 a 40%, influyendo en el buen desarrollo de las actividades agrícolas.

### **Características químicas**

#### **Reacción del suelo (pH)**

Los valores de pH encontrados, indican condiciones de ligera a moderada acidez principalmente para los suelos de Portachuelo y La Escala. En los suelos de El Rincón y Marmolejo los suelos son ligeramente ácidos.

#### **Materia Orgánica**

Todos los suelos, sin excepción, presentan altos contenidos de materia orgánica en superficie. Este alto contenido va disminuyendo con la profundidad, condición que afecta ligeramente a otras propiedades del suelo asociadas a la concentración de materia orgánica como la disponibilidad de nutrientes, capacidad de intercambio catiónico, retención de humedad y % de saturación de bases.

#### **Aluminio intercambiable**

Los suelos de Portachuelo y La Escala presentan aluminio intercambiable en cantidades moderadas a elevadas 34.6 a 89.1 mg/kg. Los suelos de El Rincón presentan trazas de aluminio intercambiable.

### Variables morfológicas de los cultivos

En las Tablas 6 y 7, se presentan valores obtenidos para las variables morfológicas estudiadas de los cultivos de zanahoria y papa, evaluadas 60 días después de la siembra.

Tabla 6. Valores obtenidos para las variables morfológicas evaluadas para el cultivo de zanahoria

	Parcela I			Parcela II			Parcela III			Parcela IV		
	Tratamientos			Tratamientos			Tratamientos			Tratamientos		
	1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3
Espesor horizonte (cm)	26.6	28.3	36.3	30.3	33.0	32.7	12.3	12.3	13.3	29.0	32.0	31.7
Altura planta (cm)	25.7	31.8	41.3	27.0	31.0	39.0	41.5	41.6	44.6	31.8	36.3	34.7
Largo raíz (cm)	15.6	16.0	17.5	13.5	14.0	14.6	18.6	20.1	19.7	16.5	17.0	16.8
Peso raíz (g)	550	600	830	330	580	630	750	810	790	700	700	730

Tabla 7. Valores obtenidos para las variables morfológicas evaluadas para el cultivo de papa

	Parcela V		
	Tratamientos		
	1	2	3
Espesor horizonte (cm)	16.0	19.6	20.0
Altura planta (cm)	32.3	35.8	40.0
Peso tubérculo (g)	900	1200	1300
# tubérculos/planta	17	19	18

En las Tablas 6 y 7 se observa que la variable altura de planta presenta una tendencia general de variar de tamaño en los distintos tratamientos. Esta variación se manifiesta de forma creciente; la explicación de dicho acontecimiento, está basada en el aumento de espesor del suelo superficial. Este aumento es producido por el depósito de sedimentos con nutrientes de las partes altas de la ladera a las partes más bajas, los cuales tienen influencia directa en el crecimiento y desarrollo de los cultivos, excepcionalmente no ocurre esto en la parcela III, lo cual puede atribuirse al efecto de la dinámica geoquímica de los suelos.

De la misma manera, el peso de las raíces y tubérculos, tiende a variar con los distintos tratamientos, diferenciándose el tratamiento 1 por presentar pesos de las raíces y tubérculos ligeramente inferiores con referencia a los tratamientos 2 y 3. Esta variación en peso está asociada a la variación del espesor del suelo superficial.

El largo de la raíz de zanahoria (Tabla 6) en las parcelas estudiadas, es de aproximadamente 16.56 cm, característica principal de la variedad Calimar, de color amarillo-rojizo. La variación del largo de la raíz es poco perceptible, en los tratamientos 1, 2 y 3 de las distintas parcelas.

El número de tubérculos contados por planta en la parcela estudiada con cultivo de papa (Tabla 7), varía entre los tratamientos 1, 2 y 3 tomando valores de 17, 18 y 19 respectivamente. Repartidos aproximadamente de la siguiente manera: tubérculos grandes 38.88%, diámetro mayor a 50 mm, tubérculos medianos 22.22%, diámetro entre 35-50 mm y tubérculos pequeños 38.90%, con diámetro menor a 35 mm.

### Promedios de las variables

En la Tabla 8 se presentan los promedios para las distintas parcelas en referencia a las variables espesor de horizonte superficial, rendimiento del cultivo, índice de productividad y tolerancia, estas dos últimas, determinadas mediante el modelo IP. En el Apéndice (Cuadros 46A, 47A, 48A, 49A y 50A), se presentan los valores obtenidos para cada una de las variables en los distintos tratamientos y repeticiones de cada una de las parcelas.

Tabla 8. Promedios de las variables espesor de horizonte superficial, rendimiento del cultivo, índice de productividad y tolerancia, para las 5 parcelas estudiadas.

	<b>Cultivo: zanahoria</b>				<b>Cultivo: papa</b>
	<b>Parcela I</b>	<b>Parcela II</b>	<b>Parcela III</b>	<b>Parcela IV</b>	<b>Parcela V</b>
Espesor horizonte superf.(cm)	30.44	32.00	12.63	30.89	18.53
Rendimiento (Mg/ha)	28.00	24.78	25.21	32.83	20.27
IP	0.296	0.227	0.304	0.365	0.236
T (Mg/ha/año) <sup>1</sup> 100 años	2.93	3.76	2.65	3.73	3.38
200 años	1.42	1.88	1.32	1.87	1.67
T (Mg/ha/año) <sup>2</sup> 100 años	5.66	7.47	5.25	7.43	6.63
200 años	2.83	3.73	2.63	3.71	3.32

<sup>1</sup>  $\delta = 5\%$ ; <sup>2</sup>  $\delta = 10\%$

### Espesor del horizonte superficial

En lo referente a la variable espesor del suelo superficial, las parcelas I, II, y III de los sectores de El Rincón y Portachuelo presentan un espesor superior al de las parcelas IV y V ubicadas en los sectores de La Escala y Marmolejo.

La parcela II presenta un espesor del horizonte superficial mayor en un 4.88%, 60.53%, 3.47% y 57.91% con referencia a las parcelas I, III, IV y V.

El promedio general del espesor del horizonte superficial para el área estudiada es 24.91 cm.

Los promedios generales del espesor del suelo superficial de las parcelas para el tratamiento 1 es 22.87 cm, para el tratamiento 2: 25.07 cm y para el tratamiento 3: 26.80 cm.

Las causas de estas diferencias pueden ser atribuidas a la erosión laminar, que es la remoción uniforme del suelo y que a menudo resulta poco perceptible para los agricultores, aun cuando ocurre a una velocidad bastante rápida, sobre todo en las parcelas cultivadas.

Esta remoción uniforme del suelo origina que se produzca una pérdida del material superficial y de micro-macro nutrientes por escorrentía de las partes altas de las laderas, para su posterior depósito en las partes bajas. Estudios realizados que son citados por Casanova, Páez y Rodríguez (1989), demuestran que el material erosionado contiene 2.7 veces más de nitrógeno, 3.4 veces más fósforo aprovechable y 19.3 veces más de potasio intercambiable que el suelo donde provenían estos sedimentos.

Sin embargo, las profundidades señaladas anteriormente se consideran suficientes para el buen desarrollo de cultivos hortícolas característicos de la zona, debido, en general, a la baja capacidad explorativa de sus raíces.

El análisis de la varianza (Tabla 9) para la variable espesor del horizonte superficial en el cultivo de zanahoria, demuestra que existen diferencias altamente significativas ( $p < 0.01$ ) a nivel de parcelas que se encuentran dentro de la microcuenca, así como también a nivel de tratamientos.

Tabla 9. Análisis de varianza. Variable: Espesor del horizonte superficial. Cultivo de zanahoria.

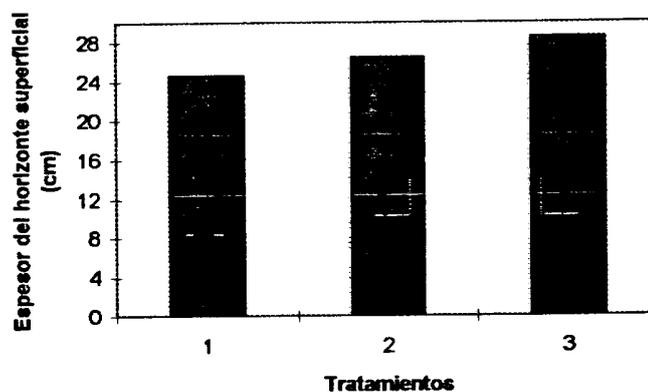
Fuente de Variación	Grados de libertad	Suma de Cuadrados	Cuadrado medio	F	Probabilidad
Parcelas	3	2307.89	769.30	161.09 <sup>**</sup>	0.0000
Tratamientos	2	92.17	46.08	9.65 <sup>**</sup>	0.0009
Repetición	2	1.17	0.58	0,12 <sup>NS</sup>	0.8855
Tratam * Repet	4	5.17	1.29	0,22 <sup>NS</sup>	0.8936
Error	24	114.61	4.78		
Total	35	2521.00	72.03		

La prueba de medias de Newman-Keuls para los datos conjuntos confirma lo anterior al encontrar diferencias significativas ( $p < 0.05$ ), para un total de 36 observaciones (Tabla 10).

Tabla 10. Prueba de medias para la variable espesor promedio del horizonte superficial para los distintos tratamientos, cultivo zanahoria

Fuente de variación	Número de datos	Promedios (cm)	Grupos
Tratamiento 1	36	24.58	a
Tratamiento 2	36	26.42	b
Tratamiento 3	36	28.50	b

En la figura 5 se ilustra el efecto de los diferentes tratamientos sobre el espesor del horizonte superficial para el cultivo de la zanahoria.



Tratamientos con letras en común como indicada en las barras, no son significativamente diferentes (prueba de Newman-Keuls)

Figura 5. Asociación de los tratamientos (ubicación en la ladera) con el espesor del horizonte superficial. Cultivo: zanahoria.

En porcentaje se demuestra que el horizonte superficial del tratamiento 3 es superior aproximadamente en 13.75% y 7.30% con respecto a los tratamientos 1 y 2. El tratamiento 2 es 6.96% superior al tratamiento 1.

En el análisis de varianza para el cultivo de la papa (Tabla 11), se establece que no existen diferencias significativas para la variable espesor del horizonte superficial.

Tabla 11. Análisis de varianza. Variable: Espesor del horizonte superficial. Cultivo de papa.

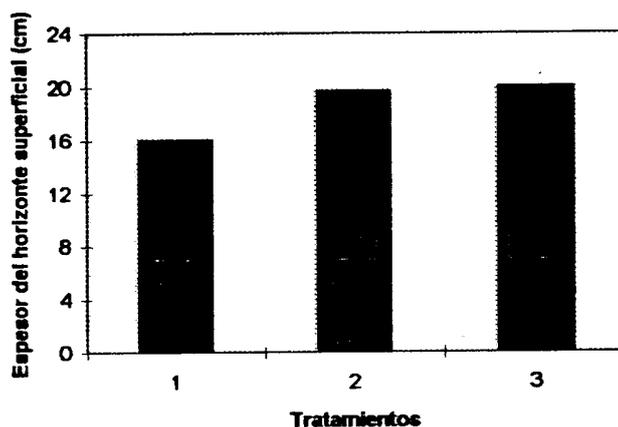
Fuente de Variación	Grados de libertad	Suma de Cuadrados	Cuadrado medio	F	Probabilidad
Parcelas	2	10.89	5.44	0.78 <sup>NS</sup>	0.5181
Tratamientos	2	29.56	14.78	2.13 <sup>NS</sup>	0.2348
Error	4	27.78	6.94		
Total	8	68.22	8.53		

Mediante la prueba de medias de Newman-Keuls (Tabla 12), se confirma lo anterior al no encontrar diferencias significativas. Sin embargo porcentualmente el tratamiento 3 presenta un espesor de horizonte superficial superior en 20.00% y 1.65% con respecto a los tratamientos 1 y 2.

Tabla 12. Prueba de medias para la variable espesor promedio del horizonte superficial para los distintos tratamientos, cultivo papa.

Fuente de variación	Número de datos	Promedios (cm)	Grupos
Tratamiento 1	9	16.00	a
Tratamiento 2	9	19.67	a
Tratamiento 3	9	20.00	a

La variabilidad del horizonte superficial para los distintos tratamientos se ilustra a continuación:



Tratamientos con letras en común como indicada en las barras, no son significativamente diferentes (prueba de Newman-Keuls)

Figura 6. Asociación de los diferentes tratamientos con el espesor del horizonte superficial. Cultivo: papa

Los resultados obtenidos por el análisis de varianza principalmente en las parcelas donde se cultiva zanahoria demuestran estadísticamente que en el tratamiento 1 existe menor espesor de horizonte superficial con relación a los tratamientos 2 y 3.

Esta pérdida de la profundidad del suelo está relacionada con la topografía, debido a que el grado de inclinación de la pendiente tiene influencia en la magnitud del proceso erosivo, generando pérdidas de suelo en la parte superior de las laderas y acumulación en las partes bajas.

El grado de inclinación promedio en los suelos cultivados con zanahoria es de aproximadamente 33.50% clasificándose como moderadamente pronunciado. López (1995) señala que se ha demostrado experimentalmente que en terrenos con pendientes superiores al 10.00% las pérdidas de suelo por erosión se duplican e incluso llegan a hacerse 2.5 veces mayores al duplicarse el grado de la pendiente.

En la parcela del cultivo de papa los espesores del horizonte superficial en promedio de los tratamientos 2 y 3 prácticamente son iguales, contrastando con el tratamiento 1. La clasificación de pendiente donde se encuentra este cultivo es muy pronunciada (57%).

### **Rendimiento de los cultivos**

Por el rendimiento obtenido para el cultivo de la zanahoria en las distintas parcelas, se establece que la parcela IV presenta los mayores rendimientos con relación a las parcelas I, II y III. La parcela IV presenta un rendimiento superior en un 14.71%, 24.52% y 23.21% con relación a las parcelas I, II y III.

El rendimiento promedio en los sitios evaluados fue de 27.71 Mg/ha, determinándose de la misma manera que el promedio para los tratamientos 1, 2 y 3, fue de 24.29, 30.50 y 28.33 Mg/ha.

El promedio de 27.71 Mg/ha es 16.03% menor que los rendimientos reportados por el Fondo Nacional de Investigaciones Agrícolas y Pecuarias (FONAIAP) para el Municipio de Rivas Dávila, que para el año 1995 fue de 33.00 Mg/ha.

Para el cultivo de la papa el promedio obtenido en la única parcela (Parcela V - Sector Marmolejo) fue de 20.17 Mg/ha, superior en un 10.75% con relación a 1995, año en el que se reportó un rendimiento de 18.00 Mg/ha para el Municipio Rivas Dávila según FONAIAP.

El análisis de varianza para la variable rendimiento fue dividida en dos grupos una para el cultivo de la zanahoria (*Daucus carota* L.) y otra para el cultivo de la papa (*Solanum tuberosum* L.).

Tabla 13. Análisis de varianza. Variable: Rendimiento, cultivo de zanahoria

Fuente de Variación	Grados de libertad	Suma de Cuadrados	Cuadrado medio	F	Probabilidad
Parcelas	3	370.08	123.36	4.77**	0.0096
Tratamientos	2	238.29	119.15	4.61*	0.0200
Repetición	2	3.53	1.77	0.07 <sup>NS</sup>	0.9338
Tratam * Repet	4	59.17	14.79	0.57 <sup>NS</sup>	0.6882
Error	24	620.90	25.87		
Total	35	1291.17	36.91		

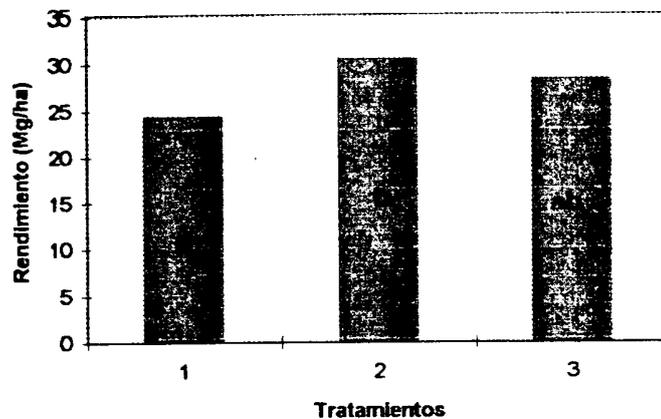
En la Tabla 13 se establecen diferencias altamente significativas ( $p < 0.01$ ) al comparar el rendimiento de las distintas parcelas. Entre los tratamientos se encuentran diferencias significativas ( $p < 0.05$ ).

La prueba de medias de Newman-Keuls a un nivel de  $p < 0.05$  para los datos conjuntos confirma lo anterior al encontrar diferencias significativas, para un total de 36 observaciones.

Tabla 14. Prueba de medias para la variable rendimiento del cultivo de zanahoria, para los distintos tratamientos.

Fuente de variación	Número de datos	Promedios (t/ha)	Grupos
Tratamiento 1	36	24.29	a
Tratamiento 2	36	30.50	b
Tratamiento 3	36	28.33	ab

Las diferencias en promedio son significativas ( $p < 0.05$ ) desde el punto de vista estadístico. Estas diferencias son ilustradas en la Figura 7.



Tratamientos con letras en común como indicada en las barras, no son significativamente diferentes (prueba de Newman-Keuls)

Figura 7. Efecto de los distintos tratamientos en el rendimiento de la zanahoria

En porcentaje el tratamiento 2 presenta un rendimiento superior en 20.36% y 7.11% con relación a los tratamientos 1 y 3.

El análisis de varianza para la variable rendimiento en cultivo de papa nos demuestra que no existen diferencias significativas en relación a los tratamientos.

Tabla 15 Análisis de varianza. Variable: Rendimiento, cultivo de papa

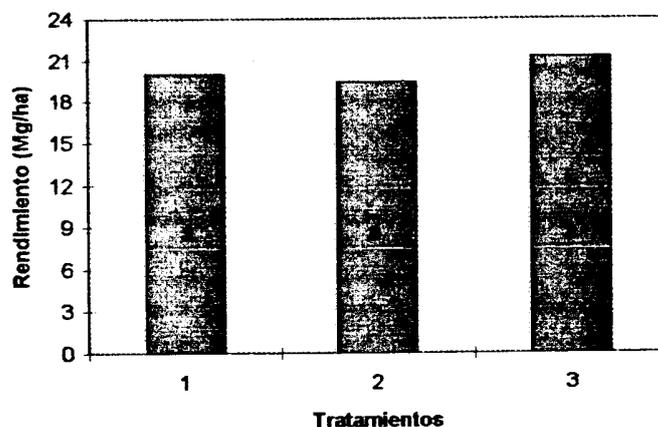
Fuente de Variación	Grados de libertad	Suma de Cuadrados	Cuadrado medio	F	Probabilidad
Parcelas	2	2.51	1.25	0.29 <sup>NS</sup>	0.5665
Tratamientos	2	5.70	2.85	0.66 <sup>NS</sup>	0.7628
Error	4	17.21	4.30		
Total	8	25.41	3.18		

La prueba de medias de Newman-Keuls (Tabla 16) a un nivel de  $p < 0.05$  para los datos conjuntos, confirma lo anterior al no encontrar diferencias significativas, para un total de 9 observaciones.

Tabla 16. Prueba de medias para la variable rendimiento del cultivo de papa para los distintos tratamientos.

Fuente de variación	Número de datos	Promedios (cm)	Grupos
Tratamiento 1	9	19.92	a
Tratamiento 2	9	19.35	a
Tratamiento 3	9	21.25	a

Los promedios de los rendimientos de los distintos tratamientos para el cultivo de la papa (*Solanum tuberosum* L.), se ilustran en la Figura 8.



Tratamientos con letras en común como indicada en las barras, no son significativamente diferentes (prueba de Newman-Keuls)

Figura 8. Efecto de los diferentes tratamientos en el rendimiento del cultivo de la papa

Porcentualmente el tratamiento 3 presenta un rendimiento superior en 6.26% y 8.94% con referencia a los tratamientos 1 y 2.

En general, las pruebas de medias efectuadas para la variable rendimiento tanto para el cultivo de la zanahoria como el de la papa establecen diferencias porcentuales reales pero estadísticamente no son significativas.

Esto podría deberse a que la reducción del horizonte superficial que afecta los rendimientos, se ve enmascarado por los altos aportes de materia orgánica que realizan los agricultores de la zona, práctica muy difundida en la zona.

Al respecto Urbina y Rodríguez (1995) señalan que los cultivos hortícolas intensivos en Los Andes se caracterizan por altas aplicaciones de abonos orgánicos, persiguiéndose con esta práctica, además de la aplicación de nutrientes, el mejoramiento de las propiedades físicas del suelo. El agricultor actúa de forma empírica al determinar la frecuencia y la cantidad de la aplicación de abonos y fertilizantes.

Pereyra y Castillo (1975) señalan que a pesar de que los contenidos de materia orgánica en los suelos andinos venezolanos generalmente son altos, la práctica de aplicación de estiércol es casi indispensable para obtener buenos rendimientos en los cultivos. Los tipos de estiércol utilizados son de caprino, vacuno

y gallina. Las cantidades usadas varían de acuerdo al sitio, a las posibilidades económicas del agricultor y a las facilidades de obtención del abono. Se aplican entre 10 - 80 m<sup>3</sup>/ha. La aplicación de fertilizantes es una práctica complementaria común, dado que los altos rendimientos hortícolas requieren de altos aportes de nutrientes que no son suplidos con la sola aplicación de abonos orgánicos. Al respecto López (1994) menciona, que la aplicación de abonos, particularmente las combinaciones de fertilizantes y abonos orgánicos se muestra como una medida que ayuda a la recuperación de la productividad mermada por la pérdida de los horizontes superficiales y sugiere que esta podría ser la razón de la aplicación de grandes volúmenes de abonos orgánicos en los suelos hortícolas andinos.

### Índice de productividad

En lo que respecta al Índice de Productividad, las parcela III presenta un valor superior en un 18.90%, 37.80%, 16.71% y 35.34% con referencia a las parcelas I, II, IV y V.

Con base en los resultados de IP obtenidos por el modelo, para las parcelas I, II, III y IV donde se cultivó zanahoria, estos suelos se pueden clasificar (con base en la Tabla 4), como de productividad moderada. De igual manera el suelo de la parcela V, cultivado con papa, se clasificaría como de moderada productividad.

El promedio general del IP para los suelos de la microcuenca fue de 0.40. Este valor se considera como de productividad media.

El análisis de varianza (Tabla 17), para la variable índice de productividad demuestra que existen diferencias altamente significativas ( $p < 0.01$ ) a nivel de parcelas y de tratamientos.

Tabla 17. Análisis de varianza. Variable: Índice de productividad. Cultivo de zanahoria.

Fuente de Variación	Grados de libertad	Suma de Cuadrados	Cuadrado medio	F	Probabilidad
Parcelas	3	0.08	0.03	139.46**	0.0000
Tratamientos	2	0.00	0.00	6.58**	0.0053
Repetición	2	0.00	0.00	0.59 <sup>NS</sup>	0.5673
Tratam * Repet	4	0.00	0.00	0.20 <sup>NS</sup>	0.9334
Error	24	0.00	0.00		
Total	35	0.09	0.00		