

UNIVERSIDAD DE LOS ANDES  
FACULTAD DE CIENCIAS FORESTALES Y AMBIENTALES  
CENTRO DE ESTUDIOS DE POSTGRADO

**PRODUCTIVIDAD DEL SUELO Y RIESGO DE EROSIÓN  
COMO BASE PARA LA PLANIFICACIÓN DE LAS TIERRAS  
EN CUENCAS ALTAS.**

CASO: MICROCUENCA EL ROYAL, MUNICIPIO RANGEL, ESTADO MÉRIDA.

www.bdigital.ula.ve

Trabajo de Grado presentado como requisito parcial para la obtención del grado de  
Magíster Scientiarum.

Mención: Manejo de Cuencas Hidrográficas

Autor: Larisa Valero  
Tutor: Fernando Delgado  
Asesor: Roberto López

Mérida, diciembre 2004.

## DEDICATORIA

A mis padres,  
por su apoyo incondicional.

A mi hijo Jorge Alejandro,  
esperando que este logro le sirva como  
ejemplo de constancia y dedicación...

[www.bdigital.ula.ve](http://www.bdigital.ula.ve)

## ÍNDICE GENERAL

	pp.
Lista de cuadros	iii
Lista de figuras	iv
Lista de mapas	vi
Agradecimientos	vii
Resumen	viii
Abstract	x
Capitulo I	
Introducción	1
Objetivo General y Específicos	4
Capitulo II.	
Revisión de la Literatura.	5
Capitulo III. Descripción del área de estudio.	
Localización y extensión.	22
Topografía.	22
Geología.	25
Geomorfología.	26
Clima.	28
Hidrología.	36
Suelos.	37
Zonas Bioclimáticas.	40
Uso actual de la tierra.	47
Capitulo IV. Metodología y Procedimiento metodológico.	
Metodología.	54
Procedimiento metodológico.	73

Capítulo V. Resultados y Discusiones.	86
Clasificación de las tierras de la microcuenca según la metodología de T.C. Sheng (1971).	86
Análisis de las propiedades físicas y químicas de los suelos.	90
Propiedades físicas de los suelos.	90
Propiedades químicas de los suelos	91
Análisis Estadístico.	94
Análisis de varianza del muestreo anidado.	94
Análisis Estadístico Exploratorio.	99
Análisis Geoestadístico.	101
Interpolación.	103
Análisis de los factores del índice de productividad del suelo (IP).	103
Análisis de los factores del índice de riesgo de erosión (IRE).	111
Clasificación de las tierras de la microcuenca según la metodología de Delgado (2003).	115
Comparación entre los resultados de ambas clasificaciones.	118
Identificación de las prácticas alternativas del área de estudio.	120
Validación final	124
 Capítulo VI. Conclusiones.	 126
 Referencias Bibliográficas.	 130
 Apéndices	 137

## LISTA DE CUADROS

	pp.
1. Asociaciones de suelos presentes en la Microcuenca.	38
2. Clasificación de Tierras Marginales Tropicales.	55
3. Tipos climáticos en función de la relación P/ETP.	58
4. Succión mátrica del suelo correspondiente con el límite superior de agua útil (capacidad de campo), en función de la granulometría.	58
5. Calificación del grado de limitación, en función del valor de los factores que determinan el índice de productividad del suelo.	65
6. Calificación de la productividad del suelo en función de los valores del Índice de Productividad (IP).	65
7. Valores de referencia del Índice de Fournier (F), para áreas montañosas Tropicales.	68
8. Calificación del grado de limitación del uso de la tierra en función del valor de los factores que determinan el índice de riesgo de erosión.	69
9. Calificación de los riesgos de erosión, en función de los valores del Índice de Riesgo de Erosión (IRE), señalando los requerimientos generales de conservación de suelos.	70
10. Sistema para la clasificación de tierras y priorización de la conservación de suelos en áreas montañosas tropicales.	72
11. Distribución y dirección de los puntos del muestreo anidado.	74
12. Propiedades físicas y químicas de los suelos, sector El Royal.	92 y 93
13. Porcentaje de varianza acumulada por nivel, de cada una de las variables consideradas en el análisis de varianza anidado.	96
14. Parámetros estadísticos más importantes para las propiedades del suelo consideradas en los muestreos.	99
15. Pruebas de normalidad para las variables físicas y químicas analizadas.	100
16. Parámetros obtenidos del ajuste a modelos teóricos.	102
17. Matriz de Prácticas de Conservación de Suelos para los parámetros del Índice de Productividad y Riesgo de Erosión.	121

## LISTA DE FIGURAS

	pp.
1. Climograma del área de estudio.	30
2. Balance hídrico.	32
3. Curvas de suficiencia para evaluar el subfactor $A_1$ : capacidad de almacenamiento de agua útil en el suelo (agua retenida entre el límite superior de agua útil y el límite inferior de agua útil)	59
4. Curvas de suficiencia que condicionan la aireación del suelo.	60
5. Curvas de suficiencia para evaluar el efecto de la compactación del suelo sobre el crecimiento de raíces.	61
6. Curvas de suficiencia para evaluar la resistencia que ofrecen los fragmentos gruesos en el suelo sobre el crecimiento de raíces	61
7. Curvas de suficiencia para evaluar la reacción del suelo (pH) sobre el crecimiento de raíces.	62
8. Curvas de suficiencia para evaluar el efecto de la materia orgánica en el suelo.	63
9. Procedimiento para calcular el factor de ponderación (K) de los horizontes del suelo.	64
10. Procedimiento general para calcular el índice de productividad del suelo (IP).	64
11. Funciones para calcular el factor $\alpha$ del índice de riesgo de erosión.	67
12. Funciones para calcular el factor $\eta$ del índice de riesgo de erosión.	69
13. Distribución de los puntos del muestreo anidado.	75
14. Modelo espacial general para la clasificación de tierras, Metodología IP-IRE.	83
15. Modelo espacial general de la Clasificación de Tierras Marginales Tropicales.	84
16a y 16b. Variogramas de las características físicas y químicas de los suelos del sector El Royal.	97 y 98
17. Semivariograma de la variable arcilla.	101

18. Distribución del factor A.	104
19. Distribución del factor B.	105
20. Distribución del factor C.	107
21. Distribución del factor K.	108
22. Distribución del índice de productividad	110
23. Distribución del factor $\alpha$ .	112
24. Distribución del factor $\eta$ .	113
25. Distribución del índice de erosión.	114

[www.bdigital.ula.ve](http://www.bdigital.ula.ve)

## LISTA DE MAPAS

	pp.
1. Base.	23
2. Pendiente.	24
3. Geológico.	27
4. Geomorfológico.	29
5. Isoyetas.	31
6. Isotermas.	35
7. Asociaciones de suelos.	39
8. Zonas bioclimáticas.	43
9. Unidades ecológicas.	48
10a. Uso actual de la tierra (microcuenca).	52
10b. Uso actual de la tierra (cono).	53
11. Distribución de los puntos de muestreo.	78
12. Clasificación tierras marginales. (microcuenca) (Sheng).	87
13. Clasificación de tierras marginales tropicales (cono) (Sheng).	89
14. Clasificación agrícola de las tierras montañosas (Delgado).	117

## AGRADECIMIENTOS

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

- Al Fondo Nacional de Ciencia y Tecnología e Investigación (Fonacit) por la beca concedida, para la realización de la maestría.
- Al Consejo de Desarrollo Científico Humanístico y Tecnológico (CDCHT) de la Universidad de los Andes, por el apoyo financiero brindado para la realización de este trabajo.
- Al Profesor Fernando Delgado, tutor del presente trabajo, por su valioso aporte, orientación y apoyo permanente.
- Al Profesor Otto Jurgenson, por su valiosa asesoría y colaboración en las etapas iniciales del presente trabajo.
- Al Profesor Roberto López, por su asesoría, colaboración y estímulo.
- Al personal del Laboratorio de Suelos del Instituto de Geografía y en especial a los profesores Jajaira Oballos, Guido Ochoa y Juan Carlos Velásquez por su colaboración, oportunos y acertados consejos.
- A los Geógrafos Jorge Manrique y Jonny Santiago, por su invaluable apoyo en el trabajo de campo, así como por su valiosa asesoría durante la elaboración de la Cartografía.
- A los profesores, personal administrativo y obrero del Centro Interamericano de Desarrollo e Investigación Ambiental y Territorial (CIDIAT) y en especial a los profesores Luís Mora y Hervé Jégat por su importante colaboración y a la señora María Sosa por su gran amistad y paciencia.
- A los compañeros del Postgrado, por su amistad, apoyo y solidaridad en todo momento.
- A todas aquellas personas que de alguna forma contribuyeron y me dieron su palabra de aliento, muchas gracias.

## RESUMEN

La erosión de los suelos constituye el principal proceso de degradación de tierras agrícolas en la mayoría de las cuencas montañosas tropicales, afectando la calidad de estas tierras al disminuir la productividad de los suelos y ocasionando impactos ambientales importantes, principalmente por la generación de altas tasas de producción de sedimentos. Durante los últimos años se han desarrollado diferentes metodologías dirigidas a estimar la susceptibilidad de los suelos a la erosión hídrica, así como a clasificar estas tierras para propósitos agropecuarios, las cuales se orientan fundamentalmente a apoyar el proceso de selección de las alternativas más adecuadas para reducir los procesos erosivos. En el presente trabajo se aplicó una de estas metodologías: el método Índice de Productividad – Índice de Riesgo de Erosión (Delgado, 2003), el cual evalúa las potencialidades y limitaciones físicas más determinantes para la producción agropecuaria en tierras montañosas, con el fin de clasificar y priorizar el uso agrícola y la selección de las prácticas alternativas más apropiadas para la conservación de los suelos en los Andes venezolanos. El área de estudio se ubica en el sector El Royal, Municipio Rangel, del Estado Mérida. Se colectaron muestras de suelos y analizaron las características físicas más relevantes realizando en una primera etapa un muestreo anidado y en la segunda etapa un muestreo sistemático. Los datos se sometieron a análisis de varianza anidado, univariado y geoestadístico, con el propósito de cuantificar la variabilidad espacial de los Índices de Productividad (IP) y Riesgo de Erosión (IRE), respectivamente. La metodología fue potenciada con el análisis espacial de los datos a través de un Sistema de Información Geográfica, generando los mapas digitales correspondientes a la distribución espacial de cada uno de los índices y obteniendo como producto final el mapa de clasificación de las tierras por prioridad de tratamiento, a partir del cual se elaboró las propuestas de uso y manejo conservacionista del suelo en el área de estudio, siguiendo las pautas señaladas en la citada metodología. A manera de validación, estos resultados fueron comparados con aquellos obtenidos mediante la aplicación de una metodología alternativa más convencional de clasificación de tierras para áreas montañosas tropicales (Sheng, 1971), contrastando finalmente ambos

resultados con las formas de uso y manejo actual de la tierra en el área de estudio. Los resultados obtenidos muestran que en estas tierras predomina una alta productividad de los suelos en combinación con un alto riesgo de erosión, debido principalmente a que son suelos con pocas limitaciones en cuanto a la productividad del suelo y con moderadas a severas limitaciones que contribuyen a potenciar el riesgo de erosión

Finalmente con esta información se seleccionaron prácticas conservacionistas en función del subfactor limitante tanto para el *Índice de Productividad* como para *Índice Riesgo de Erosión*. Las prácticas escogidas son aquellas que pueden ser implementadas según las condiciones particulares del área de estudio y aquellas que casi no tienen limitaciones para su ejecución y son fácilmente adoptadas por los agricultores, como lo son las prácticas de mejoramiento del suelo y uso de coberturas combinadas con algunas prácticas amortiguadoras de la velocidad de escurrimiento en ladera.

[www.bdigital.ula.ve](http://www.bdigital.ula.ve)

## ABSTRACT

Soil erosion constitutes the main process of agricultural lands degradation in most of tropical mountainous watersheds, affecting land quality because of soil productivity decrease and bringing about important environmental impacts, mainly due to high sediment production rates generation. During last years, different methodologies aimed at estimating soil susceptibility to hidric erosion have been developed, as well as classifying lands for agropecuarian objectives, which are mainly oriented to support more suitable alternative selection process.

In the present work, one of the methodologies was applied: Productivity Index Method – Erosion Risk Index (Delgado, 2003), that evaluates physical potentialities and limitations more important for agropecuarian production in mountainous lands, with the goal of classifying and prioritizing agricultural use and more appropriate alternative practices selection for soil conservation in the Venezuelan Andes.

The study area is located in El Royal, Rangel Municipality of Mérida State. Land physical characteristics more relevant were collected and analyzed, carrying out a nest survey at the first step and a systematic survey at the second step. Data were organized using a nest variance analysis, univariate and geostatistical, with the purpose to quantify spatial variability of Productivity (PI) and Erosion Risk (ER) Indexes, respectively. The methodology was strengthened with the analysis of data by means of a Geographic Information System, producing digital maps corresponding to a spatial distribution of every each index and obtaining as final product, land classification map by treatment priority, from which soil use and conservationist management proposals for the study area, were elaborated, following mentioned guidelines in the methodology.

As a validation way, these results were compared to those obtained by alternative methodology application which is more conventional in classifying lands for tropical mountainous areas (Sheng, 1971), confronting both results with land use and management ways in the study area. Results obtained show that in these lands a high soil productivity predominates, together with a high erosion risk, mainly due to

the fact that these soils are with few limitations regarding to soil productivity with moderate to severe limitations which contribute to increase erosion risk.

Finally, with this information, conservation practices were chosen according to limiting subfactor, both for Productivity Index and Erosion Risk Index. Practices chosen are those that can be implemented according to particular conditions of the study area and those that have almost no limitations for their implementation and are easily adopted by farmers, those practices of soil improvement and use of covers combined with some buffer practices of runoff velocity in slopes.

[www.bdigital.ula.ve](http://www.bdigital.ula.ve)

# CAPÍTULO I

## INTRODUCCIÓN

En la actualidad la mayoría de los países en desarrollo presentan una problemática ambiental particular, en donde la degradación de los suelos ocupa una posición importante, afectando áreas cada vez más extensas, principalmente en las cuencas hidrográficas altas. Dichas cuencas poseen un conjunto de características que pueden facilitar su deterioro, generando así graves problemas tanto ambientales como sociales y económicos. Nuestro país no escapa de este hecho, siendo la erosión hídrica una de las causas principales de la degradación de las tierras agrícolas, así como del alto volumen de producción de sedimentos, viéndose favorecido este hecho por varios factores característicos de las zonas tropicales, como lo son las lluvias intensas, suelos susceptibles y sistemas de producción agrícola intensivos, principalmente en condiciones de ladera.

Al ser singularmente compleja, la problemática ambiental en las cuencas altas tropicales hace necesario estimular la investigación aplicada en la cual se combinen distintos procedimientos metodológicos que permitan entender y evaluar eficazmente los impactos derivados del manejo inadecuado de los recursos, con el propósito de contribuir eficazmente a minimizar estos impactos.

La erosión produce una serie de efectos perjudiciales como lo son la pérdida de productividad (*in situ*) y los problemas de sedimentación e inundación aguas abajo (*ex situ*), generando mayores obstáculos para el desarrollo agrícola sustentable e incidiendo negativamente en la producción y la productividad de las tierras, así como ocasionando severos daños ambientales. La importancia de este hecho ha sido reconocida cada vez más en años recientes, dándose impulso a estudios que buscan establecer y cuantificar las relaciones entre la erosión de los suelos y su impacto en la productividad. Los resultados de estos estudios han contribuido al desarrollo de sistemas de planificación conservacionista del uso de la tierra,

orientados a priorizar las acciones y a diseñar estrategias y medidas que permitan recuperar, mantener o mejorar la capacidad productiva de los suelos para una producción agrícola sostenida.

El principio fundamental de cualquier sistema de planificación conservacionista del uso de la tierra es el utilizar cada unidad de acuerdo a sus potencialidades y limitaciones físicas. En las cuencas altas tropicales se ha determinado que la *productividad de los suelos y las condiciones que propician su erosión* son dos cualidades básicas de la tierra para definir sus potencialidades y limitaciones para el uso agrícola. Para que la planificación conservacionista sea exitosa es importante tomar en cuenta tales cualidades, para asignarle posteriormente a cada unidad el uso y tratamiento mas adecuado. Además, es importante establecer prioridades de tratamiento, para iniciar las actividades conservacionistas en aquellas tierras que por sus condiciones actuales y riesgos naturales ameriten ser tratadas de manera prioritaria.

La microcuenca El Royal, ubicada en el municipio Rangel, estado Mérida, ha presentado a lo largo de los años características agroecológicas y socioeconómicas de importancia local y regional, y ha sido reconocida como una de las áreas representativas de sistemas de producción de horticultura de piso alto en la región andina. Estas tierras se encuentran ubicadas dentro del Parque Nacional Sierra Nevada, la más extensa de las Áreas Bajo Régimen de Administración Especial (ABRAE) del Estado Mérida.

Las tierras del sector han sido clasificadas como tierras clase III (uso agrícola) y VI (vegetación permanente) por Castillo (1965). Según Mora y Molina (2001) el uso potencial desde el punto de vista agrícola es de tierras aptas para una horticultura moderna o semi-moderna en el fondo del valle, uso agrícola semi-intensivo en pequeñas áreas en las vertientes, y en el resto de la microcuenca se tienen tierras no aptas para uso agrícola pero podrían ser utilizadas para usos conservacionistas y recreacionales. La mayor parte de las tierras del sector se destinan actualmente

a la actividad agrícola intensiva, específicamente a la producción de hortalizas (zanahoria, ajo, brócoli, coliflor) principalmente y tubérculos (papa), concentrándose esta actividad en el fondo del valle y en pequeñas zonas en las vertientes. El pastoreo extensivo es el uso predominante en las vertientes. En la microcuenca se presenta actualmente un uso intensivo de la tierra, que sumado a las pocas medidas de conservación, ha producido fuertes procesos de erosión, observándose la disminución de la productividad del suelo.

Desde el punto de vista ambiental los problemas principales en la zona son el inadecuado uso del agua y la falta de planificación y control del suelo. El sistema de riego es ineficiente y adicionalmente, la actividad agrícola produce contaminación de suelos y aguas por residuos químicos, como consecuencia del uso desmedido de agroquímicos. La poca implementación de medidas conservacionistas adecuadas por parte de los productores, origina procesos de erosión acelerados.

En virtud de lo anterior, en este estudio se plantea como línea de trabajo aplicar una metodología para contribuir a sistematizar la toma de decisiones en cuanto a la selección de las prácticas de uso y manejo conservacionista de los suelos, al propiciar un mejor conocimiento de sus principales potencialidades y limitaciones físicas para el uso agrícola, en términos de indagar sobre las características más relevantes relacionadas con su capacidad productiva y su riesgo de erosión, en términos de su distribución y variabilidad espacial en este sector agrícola de los Andes venezolanos.

## OBJETIVOS

### Objetivo General:

Aplicar y validar una metodología de apoyo a la planificación de tierras en cuencas altas, con base en productividad y riesgo de erosión para la conservación de los suelos, fundamentada en análisis geoestadísticos de la variabilidad espacial y con apoyo de Sistemas de Información Geográficos.

### Objetivos Específicos:

- ✓ Evaluar características de los suelos relacionadas con su productividad, así como su distribución espacial en el cono de la microcuenca El Royal del estado Mérida, partiendo del modelo Índice de Productividad del suelo, IP, (Delgado, 2003), aplicando herramientas como geoestadística con apoyo de los Sistemas de Información Geográfica.
- ✓ Evaluar el riesgo de erosión y su distribución espacial en el área de estudio (cono) basándose en el modelo Índice de Riesgo de Erosión (Delgado, 2003), aplicando herramientas como geoestadística, bajo Sistemas de Información Geográfica.
- ✓ Clasificar las tierras de acuerdo a la metodología planteada y proponer alternativas de uso y manejo conservacionista del suelo.
- ✓ Comparar los resultados obtenidos por la metodología señalada (IP-IRE) con los obtenidos por una metodología similar pero más convencional de clasificación de tierras montañosas desarrollada por Sheng (1971).
- ✓ Confrontar los resultados con los usos y prácticas conservacionistas comunes ejecutadas por los agricultores de la zona de estudio.

## CAPÍTULO II

### REVISIÓN DE LA LITERATURA

Los países en desarrollo presentan una grave problemática ambiental, teniendo su máxima expresión en las cuencas altas tropicales, al poseer estas un conjunto de características que aceleran su deterioro, generando así graves problemas tanto ambientales como sociales y económicos (Hernández, 1987). En las cuencas altas tropicales la problemática ambiental es singularmente compleja, haciéndose necesario estimular la investigación aplicada en la que se combinen distintos procedimientos metodológicos, que ayuden a entender y evaluar eficazmente los impactos derivados del manejo inadecuado de los recursos (Mejía, 2000).

Uno de los principales problema ambientales en las cuencas alta tropicales, es la degradación de los suelos bajo uso agrícola y las altas tasas de producción de sedimentos, originados principalmente por la erosión hídrica, ella es favorecida por las altas intensidades de las lluvias tropicales, la presencia de suelos muy susceptibles a la erosión y sistemas de producción basados en el uso intensivo de monocultivos de ciclo corto y excesiva mecanización de los suelos (Páez, 1994).

La productividad del suelo se va reduciendo lentamente por acción de la erosión imperceptible, de manera tal que generalmente no es detectada con facilidad, sino hasta que las tierras dejen de ser económicamente sustentables para la producción agrícola. Además, las tecnologías de manejo de suelos frecuentemente enmascaran la reducción de la productividad debida a la erosión, evitando que el fenómeno pueda ser detectado oportunamente (Langdale y Shrader, 1981; citado por Delgado, 1990).

Numerosas técnicas han sido sugeridas para establecer la relación causa efecto entre erosión y rendimiento. Estas metodologías son descritas en forma general por Páez (1991) y Delgado (1991).

Un método de poca complejidad para la estimación de los efectos de la erosión sobre la productividad del suelo es el índice de productividad (IP) desarrollado por Neil (1979) y modificado por Kiniry *et al.* (1983) y Pierce *et al.* (1983), citados por López (1994). El método se fundamenta en que bajo condiciones similares de clima, cultivo y manejo del suelo, la productividad está relacionada directamente con las propiedades edáficas. El modelo asume que el rendimiento de los cultivos está relacionado directamente al crecimiento y desarrollo de raíces, que a su vez están relacionados a las condiciones del suelo. El modelo de Pierce (1983) considera que el ambiente edáfico que determina la productividad del suelo depende de las variables: capacidad potencial de almacenamiento de agua útil, la densidad aparente y el pH (López, 1988).

El índice de productividad, desarrollado inicialmente para condiciones de países templados ha sido probado y aplicado por investigadores de otras latitudes, ya sea 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). Este índice a sido modificado y validado en Venezuela y otros países tropicales por Delgado y López (1995) y Delgado (1997). Moreno *et al.* (2001) aplicaron el modelo IP en suelos con cultivos de ciclo corto, en el estado Zulia y Hernández (2002) en el estado Lara, aplicó el Índice de Productividad como criterio para la planificación conservacionista de tierras bajo cultivo de piña. En Colombia, Flörchinger *et al.* (1996) utilizaron el Índice de Productividad para estimar los efectos de la erosión en la productividad del suelo.

El riesgo de erosión es definido como la máxima pérdida de suelo que puede ocurrir cuando este se encuentra sin cobertura, sin ninguna práctica de

conservación y ha sido arado en el sentido de la pendiente. El riesgo de erosión depende solo de los factores físicos: clima, topografía y propiedades del suelo, mientras que el riesgo de erosión actual se refiere al riesgo que depende del efecto combinado de los factores físicos más el uso de la tierra y prácticas conservacionistas (Páez, 1989).

Delgado (1996) define el riesgo de erosión o erosión potencial como la máxima pérdida del suelo posible en ausencia de cobertura vegetal y prácticas conservacionistas.

Delgado (1997) propone el modelo Índice de Riesgo de Erosión para cuantificar la erosión potencial, tomando en consideración tres factores o parámetros fundamentales para estimar la susceptibilidad del suelo a la erosión hídrica en un sector montañoso, siendo estos factores: las características hidrológicas del suelo, la agresividad de las lluvias y la pendiente del terreno.

Algunos de los trabajos en los que se ha utilizado el modelo IRE se mencionan a continuación:

En la cuenca Zarzales – La Grande, Estado Mérida, Cevallos (1997) evaluó los métodos de estimación de riesgo de erosión de suelos y su aplicación en la planificación conservacionista, utilizando los enfoques de IRE, USLE y SIG.

López (1999) aplicó las metodologías USLE e IRE a través de un SIG para estimar la erosión hídrica en la cuenca del río Anaime, departamento del Tolima, Colombia.

Ureña (1999) determinó áreas susceptibles a la erosión hídrica en la microcuenca hidrográfica tropical del Río Navarrito, Cartago. Costa Rica, aplicando el modelo del Riesgo de Erosión Hídrica (IRE).

## **Planificación conservacionista del uso de la tierra.**

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

Páez, *et al.* (1985) presentan algunos objetivos que deben cumplirse en la planificación del uso de la tierra:

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

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

La conservación de suelos persigue dos objetivos fundamentales: mantener su productividad para lograr una producción agrícola sostenida y hacer uso más eficiente del recurso agua, sin embargo, estos se ven afectados directamente por la erosión hídrica, tanto por, las pérdidas del suelo y agua *in situ*, como por, los problemas de sedimentación e inundación que acarrea aguas abajo (Páez y Rodríguez, 1989). La planificación de la conservación del suelo y el agua requiere conocimientos de las relaciones entre los factores que causan la pérdida de estos recursos, y aquellos que ayudan a reducirlos. Se necesitan lineamientos generales para ayudar a seleccionar las prácticas más deseables para cada unidad de producción (Páez, 1989).

Para muchas cuencas hidrográficas de los países en desarrollo, la planificación del uso apropiado de las tierras y de las necesidades de conservación de suelos es una tarea fundamental. La principal preocupación de los gestores o

planificadores de cuencas es que la tierra sea utilizada adecuadamente (FAO, 1992; citado por Cevallos, 1997).

Existen diversas metodologías para la clasificación, evaluación y ordenación de tierras de montaña. La mayoría de los métodos tienen el objetivo de evaluar las potencialidades y limitaciones más determinantes para la producción agrícola, la capacidad productiva de los suelos (potencialidad) y el riesgo de erosión (limitaciones). Tales métodos buscan establecer, en primer lugar, una clasificación de las tierras basada en las potencialidades y limitaciones, para posteriormente definir y seleccionar el uso más conveniente o las prácticas de manejo y conservación de suelos más adecuadas para cada caso (Delgado, 2001).

Los Sistemas de clasificación de Tierras tienen como fin asignarle clases o categorías a las áreas de la superficie terrestre para un uso práctico o vocacional inmediato o futuro, como respuesta a las necesidades de planificar sobre la base del uso más beneficioso, sin degradar el medio ambiente. Son múltiples las metodologías de clasificación de tierras existentes, con enfoques y alcances diferentes, entre las que se destacan las siguientes:

1) El Sistema de Clasificación de Tierras por Capacidad de Uso (Land Capability, Klingebiel y Montgomery, 1961). El objetivo principal es agrupar las distintas unidades de tierra sobre la base de la capacidad de los suelos para producir cultivos comunes, pastos y bosques por largos períodos de tiempo con poco deterioro del recurso.

En este sistema se identifican tres categorías como son: Clases, Subclases y Unidades de capacidad. El nivel del levantamiento varía a medida que se pasa de las Clases a las Unidades de capacidad, ya que aumentan los requerimientos de información y las predicciones en el uso de la tierra se hacen más precisas.

Las unidades de tierra son agrupadas en ocho Clases, de acuerdo al grado de similitud y del número de limitaciones para el uso agrícola, las limitaciones para el uso aumentan desde la clase I a la VIII.

Las Clases I a la IV definen tierras aptas para uso agrícola bajo condiciones adecuadas de manejo. Las Clases V a la VII no son aptas para uso agrícola pero sí para pastos, bosques y recreación. La Clase VIII son las tierras que tienen grado mayor de limitaciones, sólo son aptas para la recreación y conservación.

Las clases a su vez se agrupan en Subclases según el tipo de limitaciones. Los cuatro factores limitantes principales son: erosión (e), humedad (h), suelos (s) y clima (c).

La unidades de capacidad es la menor unidad del sistema, las unidades de tierra se agrupan de acuerdo a su similar capacidad para producir cultivos y pastos.

A partir del método por capacidad de uso se han desarrollado otras clasificaciones o adaptaciones: La Clasificación de Tierras del Sistema Británico (Babby y Makney, 1969) y la Clasificación de Tierras del acuerdo con su Capacidad de Uso por el Departamento de Agricultura de Canadá (1970).

2) Sistema de Clasificación de Tierras por Capacidad de Uso (Comerma y Arias, 1971) a partir del Sistema Americano (Land Capability), con modificaciones para adaptarlo a las condiciones agroecológicas de nuestro país. El método propone un conjunto de factores para determinar Capacidades de Uso en cada una de las Zonas de Vida según Holdridge, de nuestro país. Toma en cuenta aspectos físicos-naturales relacionados con la actividad agropecuaria, junto con criterios de manejo contenidos en las clases y subclases de capacidad de uso. COPLANARH inició la aplicación de este sistema en Venezuela, específicamente en los estudios del Inventario Nacional de Tierras, en diferentes regiones del país (Concha e Izquierdo, 1982; citado por Mora y Molina, 2001).

3) Sistema de Evaluación de Tierras (FAO, 1976), surge como producto de intercambio de información a nivel internacional y de la confrontación y análisis de diversas metodologías con el fin de uniformizar criterios en la evaluación de tierras. El método busca, la interrelación entre los elementos físicos naturales de la tierra y las actividades socioeconómicas, partiendo de la determinación y

definición de usos específicos, para determinar las Aptitudes.

El sistema utiliza diversos niveles de detalle y se determinan cuatro categorías básicas de aptitud: Orden, Clase, Subclase y Unidades.

En el Orden se indica si la tierra es apta o no para el uso considerado en la evaluación.

Las Clases son subdivisiones de un orden de aptitud de tierra, que sirvan para distinguir tipos que difieren en su grado de aptitud.

Las Subclases son subdivisiones de la clase de aptitud de la tierra, se distinguen los tipos de tierras que difieren dentro de aquellas que poseen el mismo grado de aptitud, pero que difieren en la naturaleza de las limitaciones y que determinan la clase de aptitud.

Las Unidades son subdivisiones dentro de una subclase. En una subclase todas las unidades tienen la misma aptitud al nivel de clase e iguales limitaciones en nivel de subclase, pero difieren entre sí, en su producción o en aspectos como un tipo de manejo particular.

4) La Metodología de Plath (1963) para la determinación del Uso Potencial de la Tierra, considera el uso potencial, como el mejor uso que se le puede dar a la tierra, agronómicamente considerada, para obtener la mayor producción posible, en respuesta a los recursos físicos (suelo, clima y topografía) y tomando como base un nivel determinado de manejo (Aguilar, 1975; citado por Mora y Molina, 2001).

5) Sistema de Clasificación para Tierras Marginales Tropicales (Sheng, 1971) tiene como finalidad analizar un conjunto de factores físicos en función de la intensidad de uso permitido, para proponer las medidas de conservación de suelos. Este enfoque es muy sencillo, pero interesante a nivel de planificación, dado que, utilizando solamente dos parámetros, como lo son, la pendiente del terreno y la profundidad del suelo se establecen clases por capacidad de uso para tierras de montaña. A cada clase de tierra se le atribuye un uso potencial y a su vez se le plantea un uso específico con prácticas de manejo y conservación

(López, 1991).

A continuación se mencionan algunos trabajos de clasificación de tierras montañosas implementados en Venezuela:

Aguilar y Aldana (1988) determinaron el uso potencial de Tierras del Estado Mérida, aplicando la metodología de Plath. Dicha metodología es utilizable en estudios de gran visión, en grandes espacios geográficos y donde la información básica es escasa. La prioridad en el aprovechamiento deberá estar orientado a sus usos más intensivos a menos intensivos y de acuerdo a su condición, conservación y fomento de los recursos naturales.

Castro (1996) determinó la capacidad de uso de la cuenca del río Uribante, Estado Táchira, según la metodología de Sheng utilizando Sistemas de Información Geográfica (SIG). Concluyó que el SIG ARC/INFO proporciona las herramientas necesarias para realizar los análisis y modelamientos que sirven para identificar áreas susceptibles a la erosión hídrica, tanto actual como potencial.

Fernández y Navas (1997) realizaron una clasificación-evaluación de tierras con fines agrícolas, aplicando el esquema de la FAO (1976) en la subcuenca del río Escuque, Estado Trujillo. Demostraron aplicabilidad y flexibilidad a una realidad geográfica de grandes contrastes ambientales y compleja situación agrosocioeconómica.

Salinas (1998) en la microcuenca Qda. La Fría, Estado Mérida, determinó la capacidad de uso de las tierras según la metodología de Sheng. Determinó usos protectores, sobre los productivos debido a que la microcuenca funciona como abastecedora de agua a una población adyacente.

Zambrano (1999) clasificó las tierras de las subcuencas de los ríos Frío, Chimomó y Guachizón, Estado Mérida, aplicando la metodología de Sheng y posteriormente

formuló una propuesta conservacionista. Determinó los posibles conflictos de uso presentes y propuso medidas conservacionistas extensivas e intensivas en las unidades debido a su subutilización y sobreutilización.

En la cuenca alta del río Chama, Estado Mérida, Mora y Molina (2001), determinaron el uso potencial de la tierra, aplicando la metodología de Plath a través del sistema SCUT (sistema para la determinación del uso potencial de la tierra), sustentado en Sistemas de Información Geográfica. Este sistema aunado a los SIG, tienen la flexibilidad de procesar los datos generando resultados de diferentes tipos de utilización de la tierra para cada unidad. Permite que la determinación de usos potenciales de la tierra logre una nueva dimensión, con la posibilidad de visualizar en posibles escenarios, los usos propuestos, además de otorgarle al uso potencial de la tierra un carácter predictivo, lo que fortalece su papel en la Ordenación y Planificación del Territorio.

### ***Sistemas de Información Geográfica***

Los Sistemas de Información Geográfica (SIG) se definen como una colección organizada de hardware y software, datos geográficos y personal con el fin de capturar, almacenar, actualizar, manipular, analizar y desplegar eficientemente todo tipo de información geográfica referenciada (ESRI, 1990; citado por Gutiérrez, 1999). Vílchez (2000) define los SIG como un sistema de información que trata con información georeferenciada, es decir, procesa datos de eventos o entidades geoespaciales, con el fin de generar nueva información, mediante operaciones de manipulación y análisis que ayude a la toma de decisiones.

La FAO (1996) citado por Gutiérrez (1999) señala a los SIG como la mejor herramienta para combinación de información espacial, análisis, actualización y producción de nuevos mapas e información de una manera efectiva y económica, además, de tener la capacidad para almacenar información espacialmente georeferenciada (mapas), almacenar y asociar a la información espacial,

información descriptiva (tipos de suelos, tipos de coberturas, profundidad de suelos, etc.), y análisis de la información espacial (como calcular, el porcentaje de área de una cuenca con un determinado rango de pendiente).

Los SIG están compuestos por cuatro elementos fundamentales: el componente lógico o software, el componente físico o hardware, los datos geospaciales y el personal que desarrolla, usa y administra el sistema (Vílchez, 2000).

Las áreas de aplicación de los SIG son muy numerosas y se han ido incrementando cada vez más, debido en parte a la difusión que han tenido y a las necesidades, cada vez mayores, de gestionar información geoespacial. En la actualidad, son muchos los problemas de índole territorial donde los SIG aportan soluciones prácticas, principalmente, con las funciones de consulta, análisis y producción cartográfica requeridas.

Existen fundamentalmente dos tipos de SIG, los Raster y los Vectoriales. Los SIG Raster comprenden un conjunto de mapas individuales, todos referidos a la misma zona del espacio, y todos ellos representados digitalmente por un modelo de datos raster, es decir, que están formados por una malla o retícula de celdas de igual tamaño (generalmente cuadradas), que se superponen sobre el mapa analógico, de manera que a cada celda se le registra el valor único que el mapa analógico adopta en esa posición (Vílchez, 2000).

Los SIG vectoriales están diseñados para manejar, consultar y analizar la información geoespacial según un modelo de datos vectorial. Los modelos de datos vectoriales representan los elementos espaciales mediante la codificación explícita de sus límites, es decir, las líneas que separan el objeto de su entorno son representadas mediante las coordenadas de los puntos que definen los segmentos rectos que la forman (Vílchez, 2000).

Gutiérrez (1999) señala que los SIG vectoriales están mejor diseñados para las siguientes situaciones:

- \* Cuando se necesita exactitud de información de límites de propiedad, líneas centrales de carreteras y caminos y localización de líneas de servicios.
- \* Donde existen muchos atributos asociados a un elemento espacial, como lotes de bosque o un curso de un río.
- \* Cuando la información a los datos son de carácter discreto, como número de individuos, en vez de continuo como la elevación.

Los SIG raster están mejor diseñados para:

- \* Cuando se necesita más exactitud de la información en los patrones espaciales de áreas, como patrón del uso de la tierra, que en las de líneas o límites.
- \* Cuando existe necesidad de análisis de muchas coberturas de datos, como pendiente, tipo, aspecto y profundidad del suelo.
- \* Cuando es necesario incorporar información proveniente de imágenes de satélite o fotografías aéreas escaneadas.
- \* En los casos que la información es de carácter continuo, más que discreta, por ejemplo: elevaciones.

Algunas de las experiencias con aplicaciones de SIG en Venezuela se mencionan a continuación:

Castro (1996) en la cuenca alta del río Uribante, Estado Mérida identificó áreas susceptibles a la erosión hídrica y determinó la capacidad de uso de la tierra a través de la aplicación del sistema de información geográfica ARC/INFO.

En la cuenca Zarzales – La Grande, Estado Mérida, Cevallos (1997) evaluó los métodos de estimación de riesgo de erosión de suelos y su aplicación en la planificación conservacionista, utilizando los enfoques de IRE, USLE y SIG.

Quiñónez (1997) determinó la distribución espacial del riesgo de degradación por erosión hídrica y el lavado potencial de los suelos en el Estado Mérida utilizando un Sistema de Información Geográfica (ARC/INFO).

En la cuenca del río Mucujún, Estado Mérida, Gutiérrez (1999) determinó los cambios en la cobertura vegetal y usos de la tierra, utilizando técnicas de procesamiento digital de imágenes y un Sistema de Información Geográfica.

Mejía (2000) en la microcuenca del río Zarzales, Estado Mérida, desarrolló una metodología para la planificación conservacionista en cuencas altas, integrando la definición de un modelo suelo-paisaje con la evaluación automatizada de tierras.

### ***Geoestadística***

La geoestadística ha sido, desde su aparición en 1960, de amplio uso en Ciencia del Suelo. Previo a su desarrollo, se realizaron algunos trabajos en los que comenzó a visualizarse la relación que existe entre superficie-espacio y la variabilidad de ciertas propiedades de suelo; estos estudios pueden considerarse como precursores de lo que en el futuro se denominaría Geoestadística.

La geoestadística es una rama de la estadística que permite el estudio de los fenómenos naturales, considerando la dependencia espacial que se presenta entre observaciones (Journel y Huijbregts, 1978; citado por Ovalles y Rey, 1994). Ella está basada en la teoría de las variables regionalizadas y provee herramientas estadísticas para describir la variación de diversos atributos sobre la superficie de la tierra, estimarlos con precisión en sitios no muestreados y diseñar esquemas eficientes de muestreo (Webster y Oliver, 1990; citado por Ovalles y Núñez, 1994).

Una variable regionalizada aquella cuya distribución en el espacio presenta una estructura de correlación y desde el punto de vista matemático, es simplemente una función aleatoria que adopta un valor para cada punto  $x$  en el espacio (Jegat, s. f). La variable regionalizada es una función que describe un fenómeno natural geográficamente distribuido, corresponde a una variable que se encuentra en el

espacio y que muestra cierta estructura (Davis, 1986; Olea, 1977; Gurovich y Stern, 1983; Utset *et al.* 1989; citados por Ovalles y Núñez, 1994).

La variabilidad espacial puede ser cuantificada mediante la aplicación de diferentes metodologías como la covarianza, el correlograma, el madograma y el variograma, siendo este último, el más usado y considerado por algunos expertos como la columna vertebral de todo análisis geoestadístico (Jégat, s.f)

La función de la semivarianza, que es una medida de la similitud entre observaciones a una distancia determinada, es utilizada para analizar la estructura espacial; mientras más similares sean las observaciones, menor es la semivarianza (Ovalles, 1991). La semivarianza no es más que la varianza de los diferentes valores de una propiedad entre pares de puntos separados por una distancia, y se expresa por la siguiente ecuación:

$$\gamma(h) = \frac{1}{2n} \sum_{i=0}^n (Z_x - Z_{(x+h)})^2$$

$\gamma(h)$  = semivarianza.

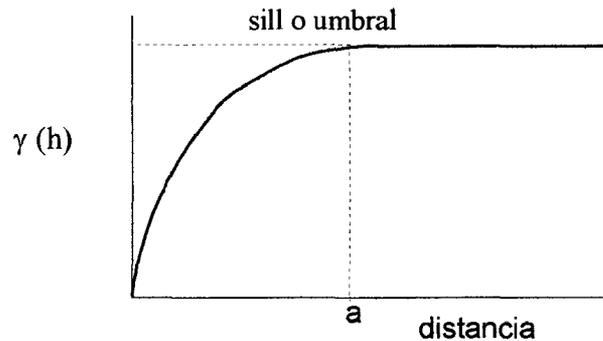
$n$  = número de pares.

$Z_x$  = valor de una propiedad en el lugar  $x$ .

$Z_{(x+h)}$  = valor de una propiedad a una distancia  $h$  del lugar  $x$ .

El gráfico de la semivarianza contra la distancia es conocido como semivariograma o variograma, contiene toda la información referente a la variable regionalizada. En el variograma la semivarianza aumenta con la distancia, alcanzando un valor más o menos constante (umbral o sill). La distancia a la cual se estabiliza la semivarianza se llama alcance, amplitud o rango de dependencia

espacial y constituye la distancia hasta donde existe dependencia espacial entre las observaciones (Ovalles y Rey, 1994).



A partir de la información generada por los semivariogramas ajustados a modelos teóricos, se pueden obtener estimaciones óptimas e insesgadas de las variables regionalizadas en sitios no muestreados, a través del método de interpolación conocido como Kriging (Ovalles, 1991). El Kriging no es más que un método de medias ponderadas de los valores observados de una propiedad  $Z$  dentro de una región (Webster y Oliver, 1990; citado por Manrique, 1997). En el Kriging se minimiza la varianza del error estimado y por tal motivo tiende a producir patrones de variación espacial más suavizados que los reales.

El error estándar obtenido por medio del método Kriging es menor que el calculado por medio de la estadística clásica; por lo que el esfuerzo de muestreo requerido para obtener una posición razonable también es menor (Webster y Burgués, 1984; citados por Rey, 1996). Los valores estimados tienden a ajustarse en promedio a los valores reales (Jegat, s.f). Este método de interpolación incorpora un modelo de cambio espacial de tipo continuo, el cual puede ser representado espacialmente por medio de mapas o diagramas.

El kriging tiene múltiples aplicación entre las que se puede mencionar la cartografía de variables hidrogeológicas y de suelo, es decir la elaboración de mapas de dichas variables y de los mapas de errores asociados, que dan una idea de la precisión obtenida. También es muy utilizado en la optimización de redes de muestreo, bien para introducir nuevos puntos o para eliminarlos de la data sin afectar la calidad de los mapas obtenidos y su error. Otra utilización es en la densificación de la red de puntos en las zonas donde existe poca o deficiente información.

Entre algunos de los estudios en el área de suelos en los que se aplicó geoestadística se tiene:

Ovalles (1991) estudió la variabilidad espacial de los suelos aun no sometidos a uso agrícola, utilizando técnicas geoestadísticas, para el establecimiento en lotes experimentales en el Estado Cojedes.

Ovalles y Rey (1994) cuantificaron la variabilidad interna existente en unidades de fertilidad en suelos de la depresión del lago de Valencia.

Manrique (1997) en el sector Los Frailes de la cuenca alta del río Santo Domingo realizó un estudio pedogenético y determinó la distancia óptima para la recolección de muestras en suelos de alta montaña.

Velásquez (1997) en la cuenca media-baja del río Santo Domingo, Estado Barinas, estudió la génesis y distribución de los suelos y caracterizó el patrón de variación espacial de los suelos y de las propiedades físico-químicas que los determinan.

Rivas (2001) en las microcuencas Aguas Regadas y la Capellanía, Municipio Pueblo Llano, Estado Mérida, estableció una clasificación de las tierras en función

de la captación de agua de los suelos, para ello utilizó la geoestadística como herramienta.

### **Muestreo Anidado**

El muestreo anidado esta basado en la teoría de las variables regionalizadas, este método permite separar los diferentes componentes que contribuyen a la varianza total, con el fin de determinar la escala de variación que pudiera o no presentar el área bajo estudio.

Según Ovalles, 1992, citado por Velásquez 1997, el muestreo y análisis de varianza anidados han sido utilizados exitosamente en la ciencia del suelo, permitiendo determinar la distancia óptima para la realización del muestreo sistemático, con la posterior elaboración de los semivariogramas estables.

El modelo del análisis anidado está representado por la siguiente ecuación:

$$Z_{ijkl} = \mu + A_i + B_{ij} + C_{ijk} + E_{ijkl}$$

Donde:

- $Z_{ijkl}$  = valor de la propiedad de suelo considerada.
- $\mu$  = valor promedio de la propiedad de suelo en el área estudiada.
- $A_i$  = diferencia entre  $\mu$  y la media de  $Z$  al nivel 1.
- $B_{ij}$  = diferencia de la media de  $Z$  al nivel 2 dentro del nivel 1 y la media del nivel 1, así sucesivamente para definir  $C_{ijk}$ .
- $E_{ijkl}$  = residuales.

El gráfico de las varianzas acumuladas contra las distancias se conoce como variograma. La distancia donde se observe un cambio marcado en la pendiente de la curva, constituye la distancia que mejor resuelve el patrón de variación de los suelos (Ovalles, 1991). Esta distancia es la más apropiada para ser usada en el muestreo y cálculos de semivarianza de la propiedad en cuestión en el marco del

análisis geoestadístico (Mateos, 1987; Oliver y Webster, 1986; citados por Ovalles, 1991).

El análisis anidado requiere de un muestreo multiestratificado jerárquico, donde cada jerarquía o nivel puede ser representado por una distancia entre observaciones, siendo el número de niveles adecuado cuatro (4), cifra mínima que permite detectar cambios consistentes en la pendiente del variograma generado a partir del análisis de la varianza (Ovalles, 1991).

[www.bdigital.ula.ve](http://www.bdigital.ula.ve)

## CAPÍTULO III

### DESCRIPCIÓN DEL ÁREA DE ESTUDIO

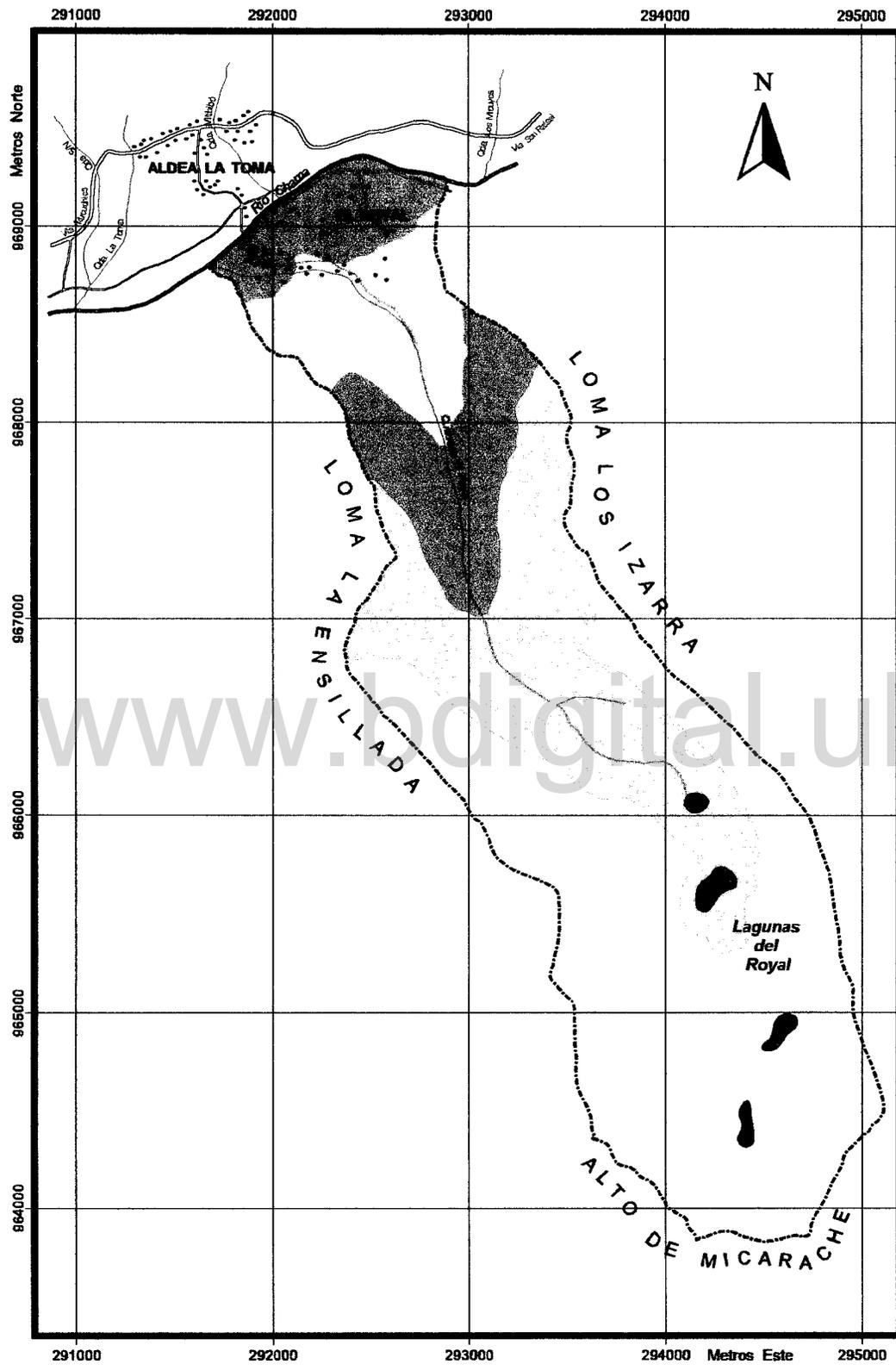
#### *Localización y Extensión*

La microcuenca El Royal se encuentra ubicada en la parroquia capital Rangel, municipio Rangel del estado Mérida, Venezuela, aproximadamente a 5 km de la población de Mucuchíes, vía Apartaderos. La quebrada El Royal es el afluente del área, y desemboca en la margen izquierda del río Chama. Geográficamente el área de estudio se localiza entre 8° 42' 26" y 8° 45' 41" de latitud Norte y 70° 53' 59" y 70° 51' 48" de longitud Oeste. En coordenadas UTM se ubica entre los 963.800 a 969.400 metros Norte y 291.600 a 292.800 metros Este. Tiene una superficie aproximada de 705 hectáreas, siguiendo su emplazamiento físico una orientación Sureste – Noroeste. Su variación altitudinal va desde los 2.800 hasta los 4.100 msnm. Limita al sur con la cuenca de la Quebrada Gavidia, al este con la cuenca de la Quebrada Michurado, al oeste con la cuenca de la Quebrada Del Misteque y al norte con el Río Chama (Mapa N° 1). En este sentido, cabe destacar que dicha microcuenca fue estudiada parcialmente a dos escalas distintas. Una primera aproximación a escala 1:25.000 para toda la microcuenca y una segunda aproximación a escala 1:5.000 localizada en el área del cono.

#### *Topografía*

Desde el punto de vista topográfico, el área de estudio presenta rangos característicos de zonas de montaña. Dominan las pendientes con rango de 15 a 35 %, que se encuentran distribuidas por toda la cuenca. El rango de 0 a 15 % se localiza principalmente en los depósitos de sedimentos aluviales (Abanicos y Morrenas). Las zonas con rango de 35 a 60 % de pendiente, se ubica sobre todo en los circos glaciales, picos escarpados y en el valle encajonado. Finalmente, existen pequeños sectores que presentan valores mayores de 60 % localizados únicamente en la crestas de los picachos ubicados en la parte media de la microcuenca (Mapa N° 2).

# PRODUCTIVIDAD DEL SUELO Y RIESGO DE EROSIÓN. MICROCUENCA EL ROYAL, ESTADO MÉRIDA.



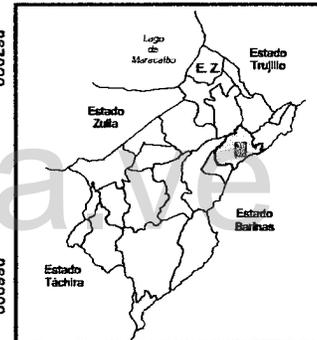
## Base

- Límites de la Cuenca
- Vía Principal
- Vía Secundaria
- Ríos
- Quebradas
- Lagunas
- Viviendas

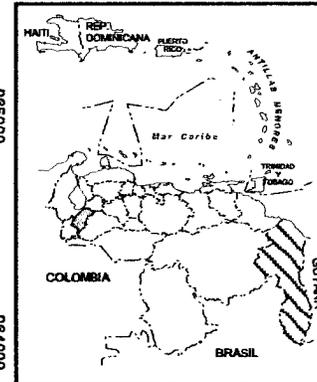
## Rangos de Elevación (m.s.n.m)

- 4000 - 4100
- 3750 - 4000
- 3500 - 3750
- 3250 - 3500
- 3000 - 3250
- 2900 - 3000

## UBICACIÓN RELATIVA REGIONAL



## UBICACIÓN RELATIVA NACIONAL

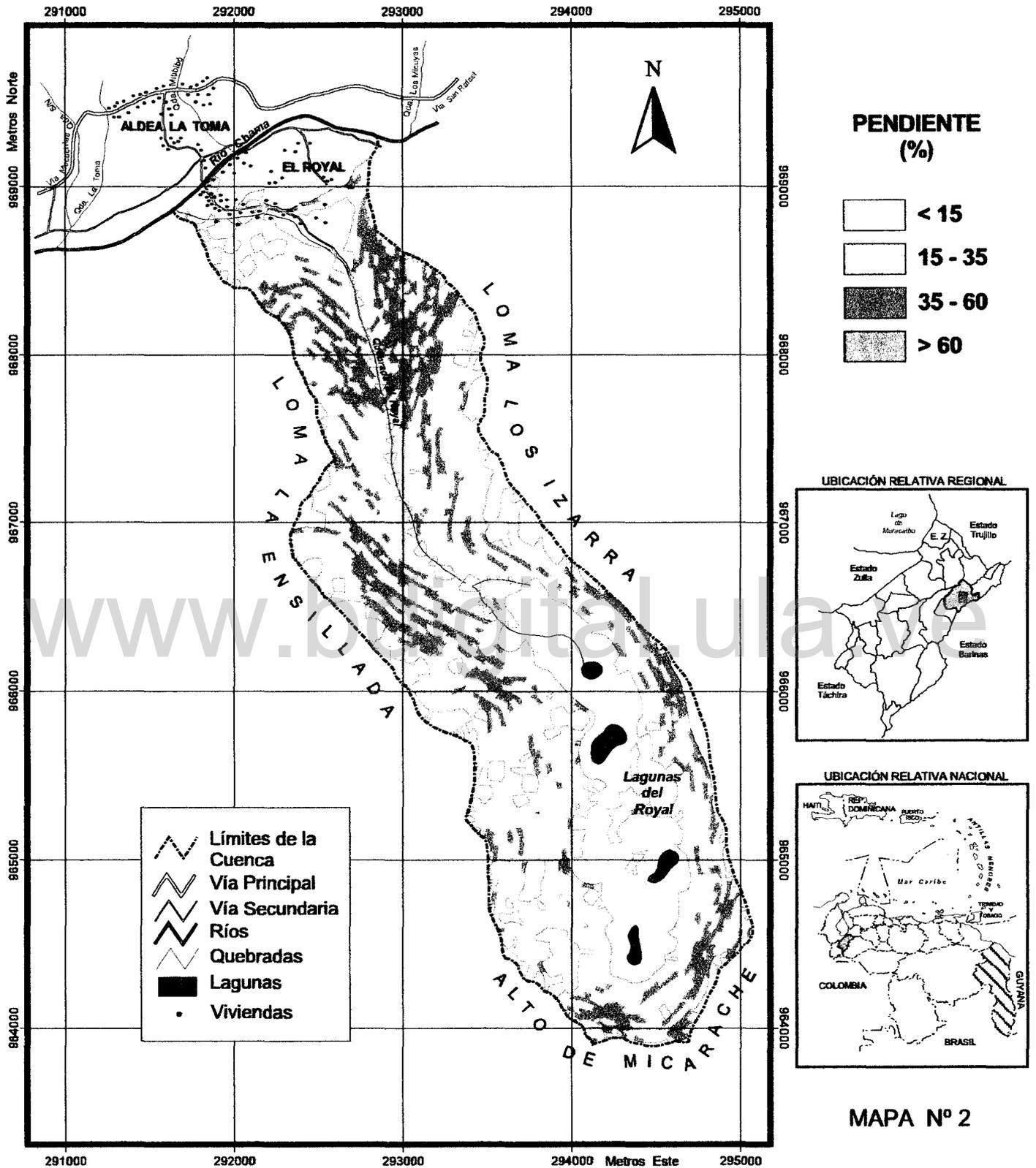


**MAPA N° 1**



FUENTE: Ministerio de Obras Públicas, Dirección de Cartografía Nacional, Hojas Seccionales: 6042- III- NO; 6042- III- NE; 6042- III- SE y 6042- III- SO. Escala 1: 25,000, Año 1974.  
Elaborado, Digitalizado y Corregido Cartográficamente: Ing. Forestal Larisa Beatriz Valero Hernández, Año 2004.

# PRODUCTIVIDAD DEL SUELO Y RIESGO DE EROSIÓN. MICROCUEENCA EL ROYAL, ESTADO MÉRIDA.



FUENTE: Ministerio de Obras Públicas, Dirección de Cartografía Nacional, Hojas Seccionales: 6042-III-NO; 6042-III-NE; 6042-III-SE y 6042-III-SO. Escala 1: 25.000, Año 1974.  
Elaborado, Digitalizado y Corregido Cartográficamente: Ing. Forestal Larisa Beatriz Valero Hernández, Año 2004.

## **Geología**

La litología que aflora en el área, está dominada en su totalidad por la Asociación Sierra Nevada (Complejo Iglesias).

Esta unidad ocupa el centro de la Cordillera de Mérida, constituyendo el basamento tanto de la Serranía del Norte, o de La Culata, como de la Sierra Nevada de Mérida. Originalmente conocida como Grupo Iglesias, su constitución compleja de intrusiones graníticas y rocas metamórficas ha hecho que algunos autores (Shagam, 1969, 1972b; Grauch, 1975; citados por La Marca, 1995) prefieran usar el nombre de Complejo Iglesias. Testamark *et al.* (1991) consideran que el nombre de Formación Sierra Nevada es un sinónimo del Complejo Iglesias, aunque indican que sería recomendable redefinir este término para una secuencia característica de este Complejo y darle el nombre de Asociación Sierra Nevada.

Las rocas del Complejo parecen ser de origen metasedimentario. La litología del Complejo, corresponde a una secuencia sedimentaria metamorfizada, que incluye principalmente esquistos, gneises cuarzo-feldespáticos bandeados, aunque localmente se han indicado ortogneises biotíticos, anfibolitas y gneises anfibolíticos, esquistos cuarzo-muscovítico-feldespáticos de grano grueso, anfibolitas plagioclásico-hornabléndicas, metareniscas y cuarcitas. Los esquistos constituyen el 80% del Complejo; están compuestos principalmente por minerales micáceos, cuarzo y feldespatos. El grupo secundario de rocas son los gneises, constituidos por minerales como el cuarzo (feldespático, micáceo) moteado con biotita y granate. Las anfibolitas son las rocas menos comunes en la asociación y están constituidas por plagioclasas, hornablenda, epidoto y granate (Korvisars, 1972; citado por Sosa, 1999). La edad de las rocas del Complejo Iglesias ha sido objeto de especulación. Burkley (1976) y González de Juana *et al.* (1980) postulan una edad mínima de 1.133 millones de años para la roca de origen de los supuestos metasedimentos, basado en la relación Pb/Pb.

Los sedimentos acumulados en la microcuenca a alturas superiores a los 3.200 msnm. fueron arrastrados y depositados por glaciales originados por un cambio climático conocido como Glaciación Mérida (Schubert, 1974; citado por La Marca,

1995) durante el Pleistoceno Superior y comienzo del Holoceno hace aproximadamente unos 10.000 años.

En el mapa N° 3 se observa en el cono de deyección materiales transportados y algunos materiales aluviales del río Chama mezclados con los de la quebrada El Royal, pertenecientes al Pleistoceno tardío (González, 1983).

Tectónicamente, en el área se presenta la **Falla de Boconó**, común a casi todos los Andes venezolanos, con 425 km. aproximados de distancia desde el estado Táchira hasta el estado Lara, constituyendo en su mayor parte una zona de fallas más que una falla única. Su movimiento lo indica el desplazamiento vertical de una misma formación en el área (Mapa N° 3).

Esta falla es muy visible en la parte baja de la microcuenca, desplazando el depósito de sedimentos cuaternarios del cono de deyección en forma de escarpas de 20 a 25 m de altura. Tiene dirección sureste, orientando el cauce del Río Chama en el sector (Ferrer *et al.* 1991).

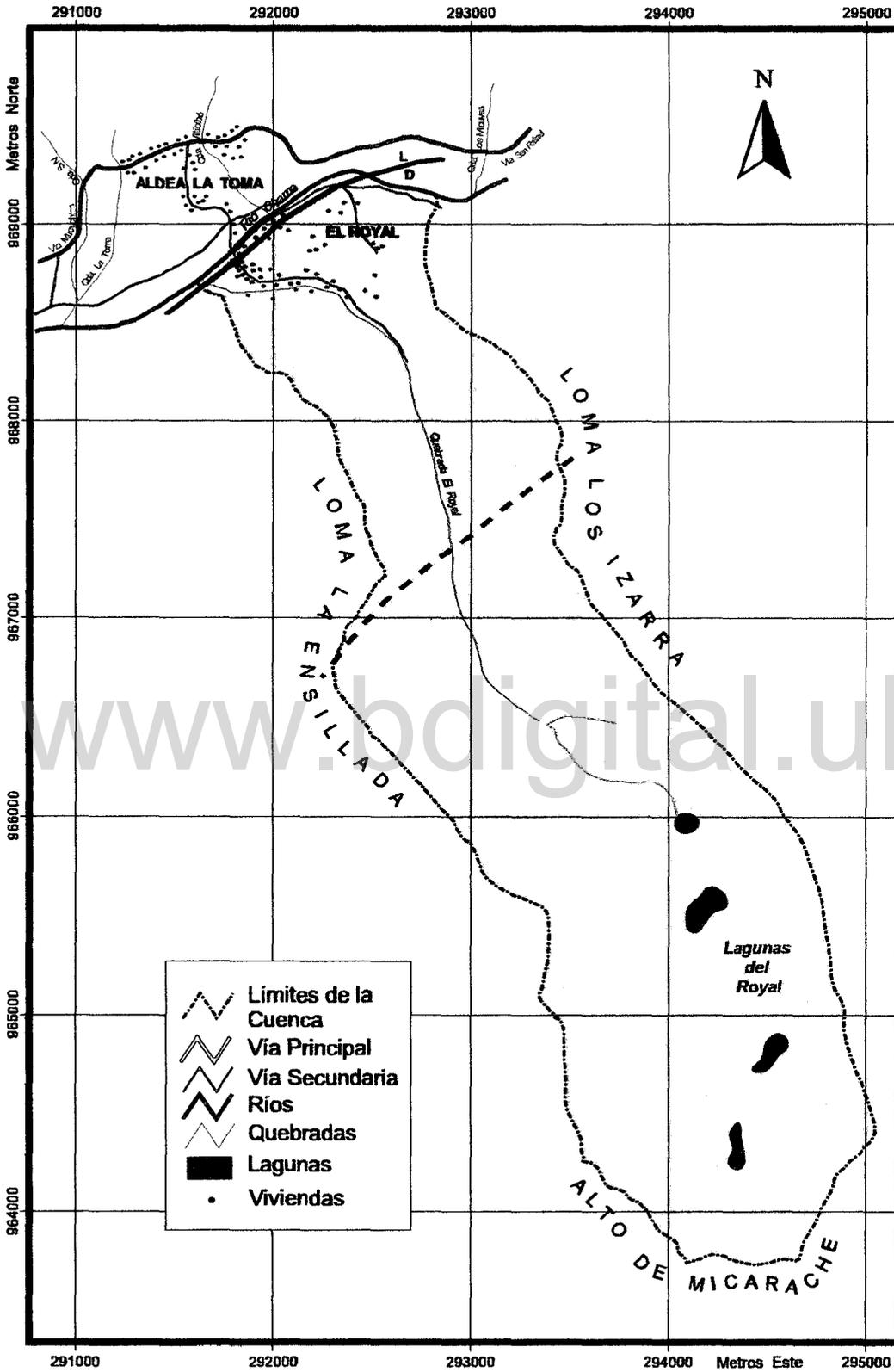
### **Geomorfología**

El área de estudio, se caracteriza por presentar un relieve con laderas de fuertes pendientes, estrechos valles longitudinales y transversales.

El modelado del relieve de la mayoría del área de estudio, estuvo influenciado por la última glaciación, fenómeno que produjo un descenso de la temperatura, afectando los patrones de distribución de la precipitación. En el núcleo central de los Andes venezolanos, el descenso en la temperatura estuvo por el orden de los 10 °C con respecto a la actual lo que originó una disminución en la precipitación entre un 30 % a 50 % de la actual (Briceño *et al.* 1995).

Este fenómeno global que ocurrió en el núcleo central de los Andes venezolanos, ha recibido localmente el nombre de Glaciación Mérida (Schubert, 1974; Tricart, 1967; citados por La Marca, 1995) asignó a los depósitos glaciales del área de Mucuchíes una edad correspondiente a la penúltima glaciación (Riss). La Marca (1995) cita a Schubert (1974) quien atribuye a las mismas una edad correspondiente al último máximo de glaciación (correspondiente al Wurm).

# PRODUCTIVIDAD DEL SUELO Y RIESGO DE EROSIÓN. MICROCUENCA EL ROYAL, ESTADO MÉRIDA.



## Geológico

### Estratigrafía

#### Cuaternario

Holoceno  
(Cono de Deyección)

Pleistoceno  
(Morrenas)

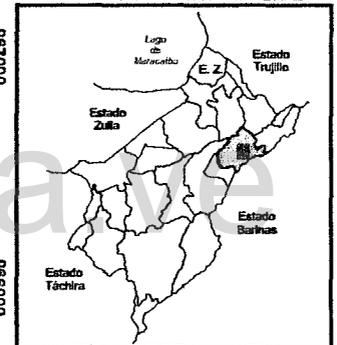
#### Precámbrico

Asociación  
Sierra Nevada

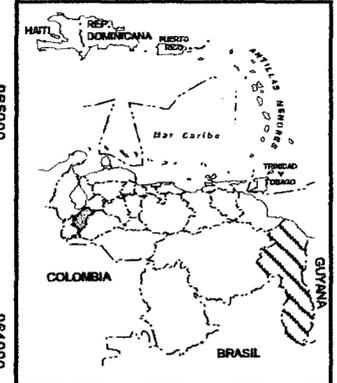
### Tectónico

- Falla Observada
- Falla Inferida

#### UBICACIÓN RELATIVA REGIONAL



#### UBICACIÓN RELATIVA NACIONAL



**MAPA N° 3**

FUENTE: González N., Labrador J. Vocación de Uso Agrícola en la Cuenca Alta del Río Chama. Escuela de Geografía. Esc 1:50.000. Año 1983.  
Elaborado, Digitalizado y Corregido Cartográficamente: Ing. Forestal Larisa Beatriz Valero Hernández, Año 2004.



Más tarde, Schubert (1980) indica que los fechamientos radiocarbónicos en muestras recogidas por este autor y por Giengengack y Grauch (1975) sugieren una edad de 10.000 años a.p. e incluso más antigua 13.000 años a.p., lo cual hace referencia a una edad Wisconsin tardía para la Glaciación Mérida.

Los ejemplos más prominentes de modelado glacial son los valles glaciales, circos, aristas, picachos y morrenas. Todos ellos son observados en la microcuenca El Royal en alturas superiores de los 3.500 msnm.

Los indicios de erosión glacial son escasos, entre ellos están las estrías, los surcos, las rocas pulidas y las rocas aborregadas y en forma de lomo de ballena. La relativa escasez de estos indicios probablemente se deba a la dureza de las rocas del Complejo Iglesias, así como también a la distancia relativamente corta de transporte glacial (3 a 5 km). Todo esto impidió la producción a gran escala de estructuras glaciales en los fragmentos. No obstante, los glaciales transportaban grandes cantidades de material, depositando morrenas potentes y bien formadas en las zonas de menor pendiente mientras que en las zonas de mayor pendiente se formaron grandes acumulaciones como el cono de deyección de El Royal (Mapa N° 4).

### ***Clima***

Los elementos climáticos del área de estudio se ven afectados por factores geográficos y muy especialmente por los orográficos. En efecto, la precipitación y la temperatura, como elementos de mayor importancia en el establecimiento de un determinado tipo de clima, se encuentran condicionados por las elevaciones topográficas (elevaciones del terreno, vertientes, fondo de valle, etc.) presentes en la zona.

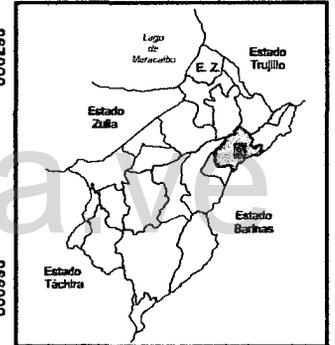
En el lugar de la Toma, adyacentes al Sector El Royal, se localiza una estación climatológica a una altitud de 3.100 msnm (Estación Mucuchíes) perteneciente al Instituto Nacional de Investigaciones Agrícolas (INIA), donde se han registrado para un período de 32 años, temperaturas medias anuales de 11,1°C; con medias máximas de 18 °C y mínimas de 5 °C. La temperatura media, oscila entre los

# PRODUCTIVIDAD DEL SUELO Y RIESGO DE EROSIÓN. MICROCUECNA EL ROYAL, ESTADO MÉRIDA.

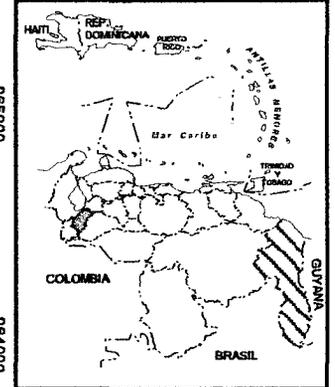
## Geomorfológico

- Acumulación Cono de Deyección (Depósitos del Würm)
- Acumulaciones Morrenas (Depósitos Antiguos del Riss)
- Arcos Morrénicos Nítidos
- ▲▲▲▲▲ Círcos Glaciales
- +++++ Acantilados Rocosos
- Solifluxión
- Pequeños relieves rocosos aborregados
- xxx Planos Inclinaados de rocas Aborregadas
- ▲ Cono de Deyección

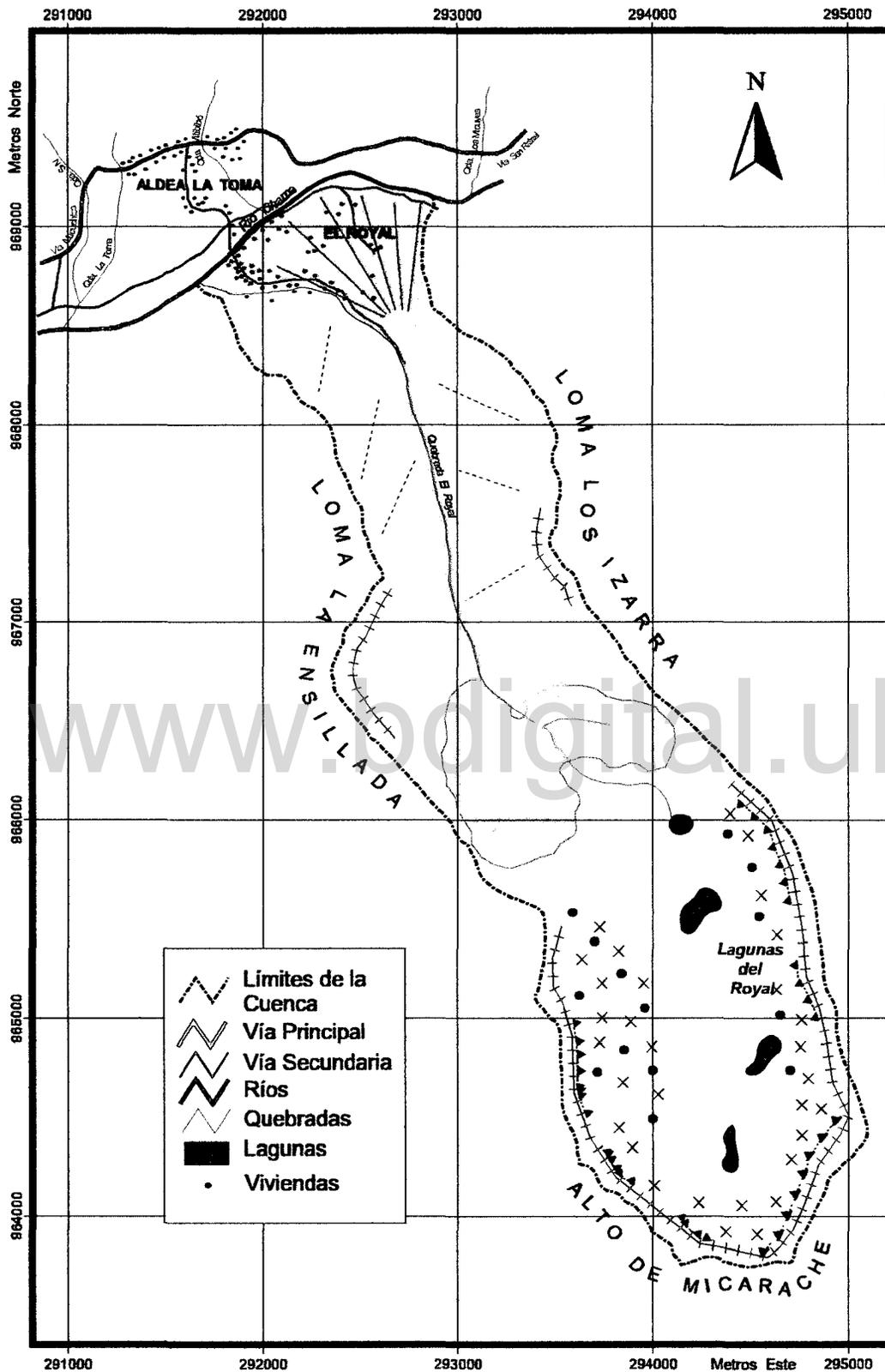
### UBICACIÓN RELATIVA REGIONAL



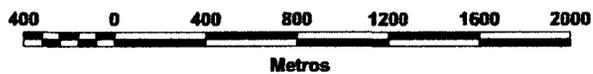
### UBICACIÓN RELATIVA NACIONAL



**MAPA N° 4**



- ~ Límites de la Cuenca
- ~ Vía Principal
- ~ Vía Secundaria
- ~ Ríos
- ~ Quebradas
- Lagunas
- Viviendas



FUENTE: Tricart, Jean. Mapa Geomorfológico de Mucuchíes. Universidad de Los Andes - Instituto de Geografía - Centro de Geografía Aplicada de la Universidad de Estrasburgo. Esc. 1:25.000. Año 1966.

Elaborado, Digitalizado y Corregido Cartográficamente: Ing. Forestal Larisa Beatriz Valero Hernández, Año 2004.

10 y los 12 grados Celsius mostrando que existe muy poca variación durante el año.

La precipitación media anual es de 639,1 mm y una humedad relativa media anual de 71,3%.

En términos generales, la época lluviosa y fresca se extiende por ocho meses continuos (abril a octubre) con una acentuada época seca y fría (diciembre a marzo) y noviembre es un mes de transición, evidenciado así, un régimen unimodal (Figura N° 1).

La distribución estacional de la lluvia no es representativa de la cuenca del río Chama, ya que la microcuenca está sujeta a la influencia del clima de los Llanos a través de las masas de aire que penetran por la cuenca del río Santo Domingo y bajan desde el Páramo por el sector de Apartaderos.

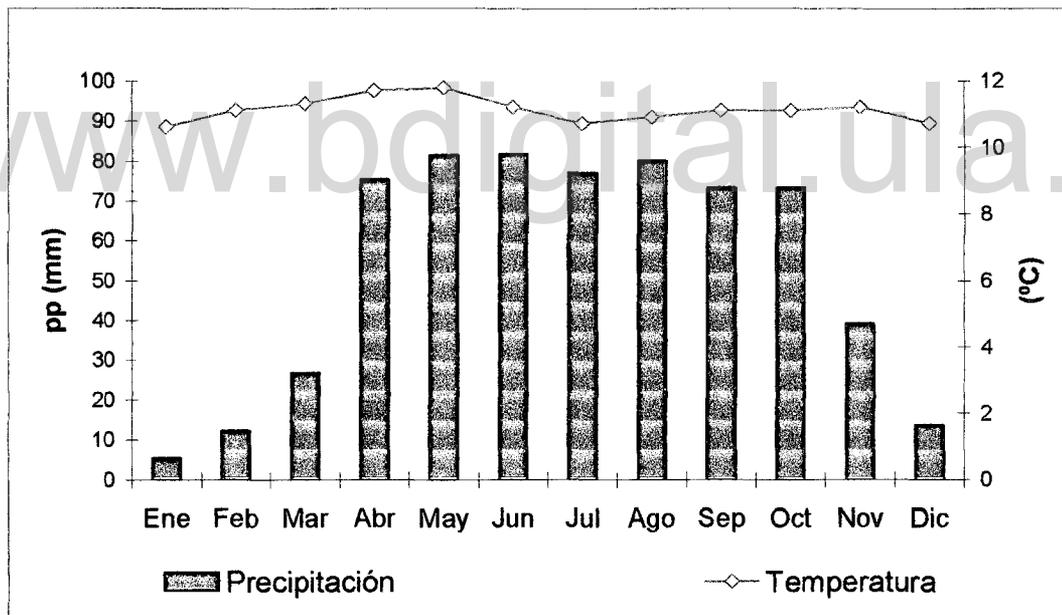
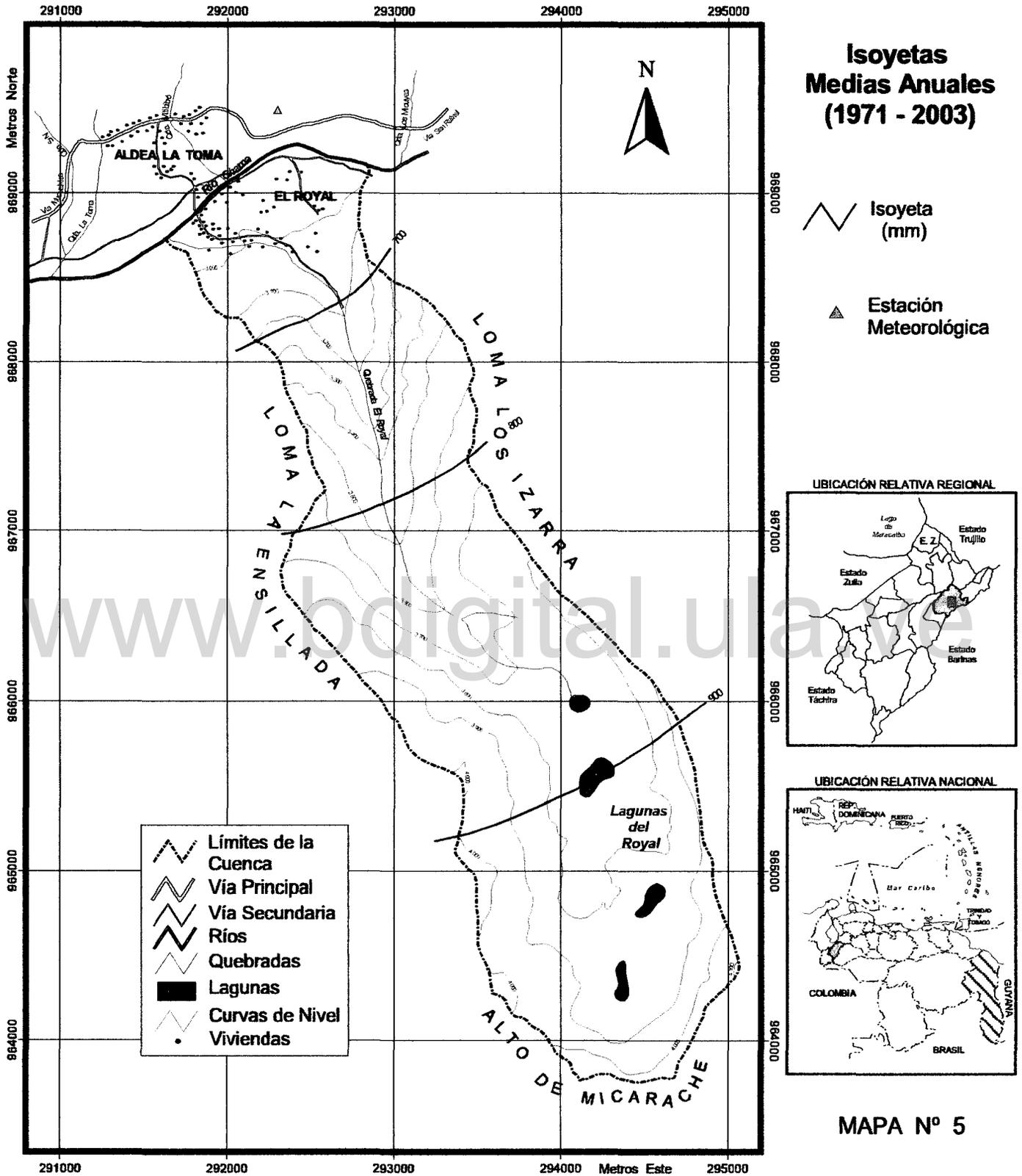


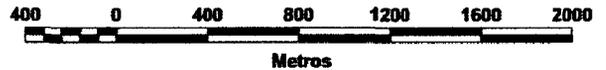
Figura N° 1: Climograma del Área de Estudio. Estación Mucuchíes (INIA) Años 1971 – 2003.

En el mapa N° 5, se observa que la distribución de las lluvias está íntimamente influenciada por la topografía, incrementándose desde el valle del Chama hasta las partes altas. Así se tiene que la isoyeta de 700 mm se ubica a una altura de 2.800 m, la de 800 mm a una altura de 3100 y la de 900 mm a una altura de 3600 metros, aproximadamente.

# PRODUCTIVIDAD DEL SUELO Y RIESGO DE EROSIÓN. MICROCUENCA EL ROYAL, ESTADO MÉRIDA.

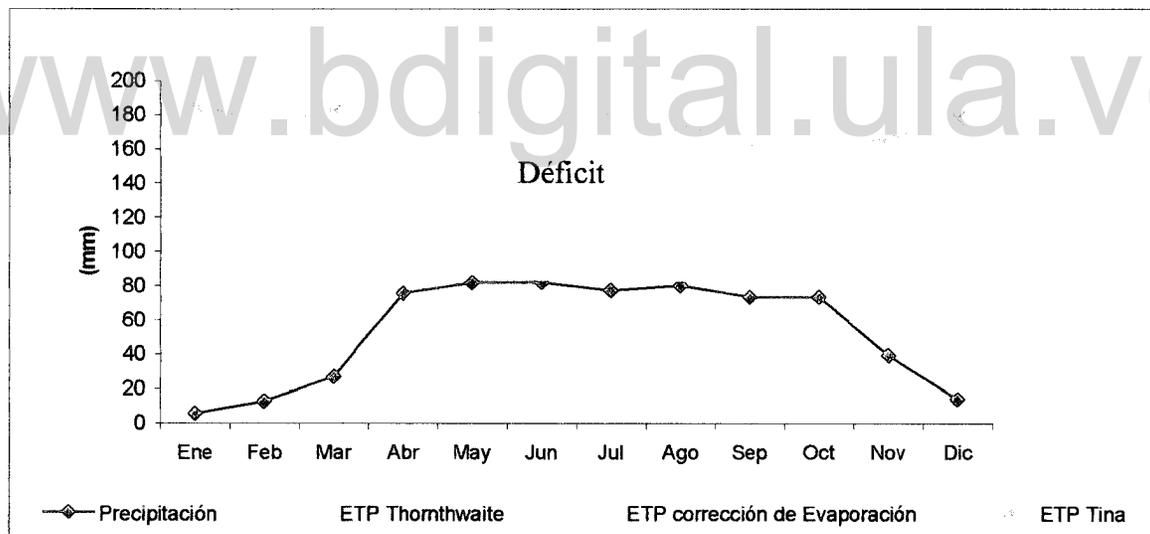


FUENTE: Instituto Nacional de Investigaciones Agrícolas (INIA). Estación Meteorológica Mucuchilés.  
 Período 1971 - 2003.  
 Elaborado, Digitalizado y Corregido Cartográficamente: Ing. Forestal Larisa Beatriz Valero Hernández, Año 2004.



La Evapotranspiración Potencial (ETP) anual del área de estudio varía mucho según el método que se utilice para su estimación. Según el método de Thornthwaite es de 1349,3 mm, por el método de corrección de la Evaporación 1060,9 mm, por el método de la Tina 2087,7 mm y por el método de Holdridge 654,9 mm. Se trabajará con el método de Thornthwaite, es el más sencillo y confiable ya que el utiliza los valores de temperatura del lugar.

La Evapotranspiración Potencial (ETP) anual es más del doble de la precipitación, lo cual permite inferir la existencia de una provincia de humedad de tipo Subhúmeda. Estos resultados nos indican que el área debería presentar déficit de humedad, ya que el balance hídrico así lo demuestra (Figura N° 2). Sin embargo, la alta nubosidad hace que la humedad se mantenga relativamente alta casi todo el año debido al fenómeno de “precipitación horizontal”, ya que la vegetación atrapa la condensación del agua en forma de neblina.



**Figura N° 2: Balance Hídrico. Estación Mucuchíes. Año 1971 – 2003.**

Con relación a los vientos en el área, se tiene que las brisas de Valle (vientos del SW) son dominadas por los vientos del NE, provenientes del valle del río Santo Domingo.

En cuanto a la clasificación climática, y en función de los valores de temperatura, se tiene una clasificación climática según Koppen (1945) correspondiente a un clima de alta montaña con lluvias en la posición alta del sol, isotérmico y con niebla frecuente (Gwin). La clasificación del clima según el sistema de Thornthwaite, es húmedo Mesotérmico. En función de los valores de precipitación Berh, Blair, Widsoe (1985) definen el área como Subhúmeda; Etcheverry (1985) la define como Semiárida.

En relación con los valores de precipitación y temperatura: el índice de pluviosidad de Lang (IL) la define como una zona Húmeda. El índice Termopluviométrico de Dantin Cereda y Revenga Carbonell (IC) la define como una zona Húmeda y finalmente, el índice de Aridez de De Martonne (IA) la define como una zona Subhúmeda.

Por último, Castillo (1965) establece dos fajas climáticas para esta zona como son: Faja climática Mesotérmica: ubicada entre los 2500 y 3400 msnm. El período seco y frío se extiende entre diciembre y marzo; el período lluvioso y fresco entre abril y octubre, mientras noviembre se presenta como un mes de transición. El período seco se caracteriza por temperaturas medias bajas, de hasta 9 °C, y por una amplitud térmica superior a los 14 °C.

El período lluvioso y fresco se caracteriza por un aumento de la humedad relativa, la nubosidad y por lo tanto las precipitaciones; disminuye la radiación solar, las heladas, la evapotranspiración y la amplitud térmica, cesando el funcionamiento mecánico de brisas de valle y de montaña.

Faja climática Paramera-Nevada: ubicada por encima de los 3400 msnm térmicamente la temperatura media del mes más calido (mayo) está por debajo de los 10 °C. En términos pluviométricos, el páramo presenta totales de precipitación cercanos a los 100 mm en las estaciones lluviosas, disminuyendo en la estación seca y fría. Durante la estación lluviosa la nieve precipita, generalmente en julio, mientras que el granizo cae a finales de agosto - septiembre.

Debido a que la microcuenca tiene una orientación suroeste (umbría) la radiación solar que recibe es menor que en aquellas microcuencas de orientación noreste (solana) por lo que su calentamiento es posterior, originando retardo en la

formación de nubosidad. Sin embargo, las horas de formación de nubes orográficas están comprendidas entre las 9:00 de la mañana y 3:00 de la tarde.

La influencia de las nubes sobre la zona en particular, determinan la permanencia de las precipitaciones y éstas influyen en la instalación y permanencia de la agricultura (Blanco y Dávila, 2002).

Aunque existen diferencias en el calentamiento entre vertientes debido a la radiación solar, esto origina cambios someros en el flujo del aire (vientos de ladera y en fondos de valle), la temperatura del aire y del suelo son menores influenciando así el gradiente altotérmico. Sin embargo, estas diferencias son mínimas, por lo que se necesita de datos más minuciosos para poder determinar la magnitud de tal diferencia.

Como se observa en el mapa N° 6, la microcuenca presenta valores de temperatura promedio que oscilan entre 12 °C a los 2.800 hasta los 5 °C en los 4.100 msnm, estos valores serán de importancia para la estimación del Confort Climático del área de estudio.

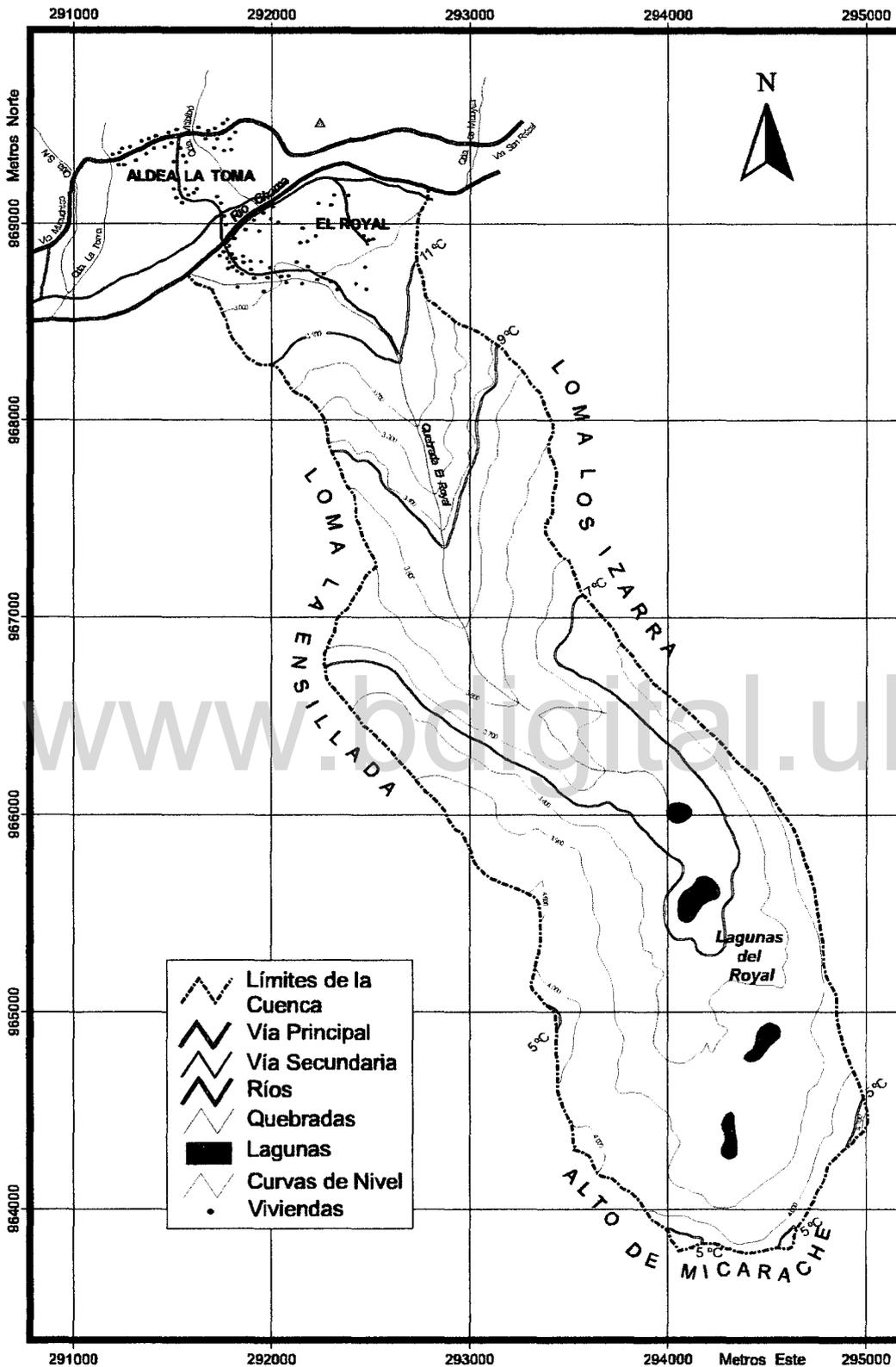
#### *Confort Climático*

Aún cuando el área de estudio tiende a ser homogénea desde el punto de vista climático, se reconoce que elementos como la temperatura y humedad relativa determinan una variación local significativa, diferenciando dos (2) zonas de confort climático o ambiental (Frío y Muy Frío).

El ambiente Frío, que se ubica en la parte baja de la microcuenca, correspondiendo al sector de El Royal (cono de Deyección), los valores de temperatura oscilan entre 10 °C y 15 °C, los de humedad relativa por encima de 70%, la mayor parte del año. El confort es incómodo, debido a que la respuesta física en el individuo es la vaso constricción en manos y pies.

El ambiente Muy Frío se distribuye en el resto de la microcuenca, los valores de temperatura tienden a ser menores a los 10 °C y los de humedad relativa menores de 70%. El confort es muy incómodo ya que ocasiona estremecimiento corporal.

# PRODUCTIVIDAD DEL SUELO Y RIESGO DE EROSIÓN. MICROCUEENCA EL ROYAL, ESTADO MÉRIDA.



**Isotermas  
Medias Anuales  
(1971 - 2003)  
Ajustadas al relieve**

- Isoterma (°C)
- Estación Meteorológica

UBICACIÓN RELATIVA REGIONAL

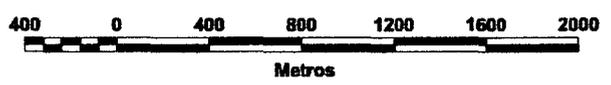


UBICACIÓN RELATIVA NACIONAL



**MAPA Nº 6**

FUENTE: Instituto Nacional de Investigaciones Agrícolas (INIA). Estación Meteorológica Mucuchilas.  
Período 1971 - 2003.  
Elaborado, Digitalizado y Corregido Cartográficamente: Ing. Forestal Larisa Beatriz Valero Hernández, Año 2004.



Los valores extremos de temperatura determinan un bajo grado de transpiración corporal y disminución progresiva en el ritmo de movilidad de la sangre.

### ***Hidrología***

La microcuenca, posee una red hidrográfica caracterizada por un escurrimiento de tipo estacional. La Quebrada El Royal constituye la principal fuente permanente, drenando la totalidad de la microcuenca, este cauce tiene una longitud de 4,1 kilómetros, desde su nacimiento en la laguna del Royal hasta su desembocadura en el Río Chama.

Las aguas de la microcuenca drenan al Río Chama que desemboca en el Lago de Maracaibo y que forma parte de la Hoya del Caribe.

Morfométricamente la microcuenca presenta una forma alargada, muy irregular y muy pronunciada o abrupta, lo que significa que es poco probable que ocurra una lluvia intensa, simultáneamente, sobre toda su extensión y debido a que el recorrido del escurrimiento en la microcuenca es largo e irregular, ocasiona retraso en la concentración del escurrimiento superficial y la violencia de crecientes en ella serian graduales, menos violentas y poco probable.

La densidad de drenaje es igual a 6,42; es decir 6,42 km de cauces en cada km<sup>2</sup> de la microcuenca, lo que caracteriza una densidad de drenaje baja. La densidad de cauces es de 4,26, es decir 4,26 cauces por km<sup>2</sup>. El escaso drenaje la hace ineficiente, por consiguiente es más lento el escurrimiento superficial.

Debido a la litología (materiales duros y resistentes) y a las texturas medias a gruesas, presenta una facilidad de infiltración del agua de lluvia bajo la superficie del terreno hasta alcanzar el nivel freático ya que sus materiales son muy permeables (arenas y gravas) por lo que la recarga del acuífero es muy rica.

En el período de verano los caudales disminuyen considerablemente pero siempre son permanentes.

Por otro lado, la microcuenca presenta cuatro (4) lagunas en la parte alta, denominadas Lagunas del Royal. Ellas tienen un origen glacial y poseen una superficie total de 6,96 ha. Su profundidad se desconoce, pero, se estiman que

poseen suficiente agua para ser designadas como reservas. Su función actual es de mantener la actividad de la pesca de trucha, tanto deportiva como de subsistencia

### **Suelos**

Castillo (1965) Partiendo de que los suelos son el producto de la combinación del clima, la geología, la geomorfología y la vegetación, describe unidades a nivel de asociaciones de suelos. Dichas asociaciones reúnen suelos derivados de materiales similares, bajo condiciones de clima y edad más o menos iguales, pero que tienen diferencias en cuanto a condiciones de relieve, drenaje y disposición de los horizontes.

Para el área de estudio Castillo (1965) define suelos formados de materiales parentales transportados, actuales o recientes (Cono de Deyección) y suelos formados a partir de materiales residuales de la Asociación Sierra Nevada (vertientes).

Los suelos desarrollados a partir de materiales transportados, han sido producto de la erosión ocurrida en la parte alta y procesos de acumulación que formaron zonas de origen aluvial y coluvial, conformado por el fondo de valle en forma de cono, con condiciones edáficas excelentes para el desarrollo de la actividad agrícola.

Los suelos desarrollados sobre materiales residuales en las vertientes, a partir de la Asociación Sierra Nevada (Complejo Iglesias), poseen características particulares, de muy baja fertilidad, ya que son suelos con escasos nutrientes, con poco desarrollo pedogenético y afectados por procesos erosivos que limitan el desarrollo agrícola intensivo.

Taxonómicamente los suelos pertenecen a los órdenes Inceptisoles en el fondo del valle, cuyos subgrupos son: Humic Dystrustept y Lithic Dystrustept, los cuales son de medianamente a poco desarrollados. En las vertientes se tienen Entisoles, los cuales se caracterizan por ser suelos que comienzan a desarrollarse pedológicamente (González, (1975); citado por Vega, (1978).

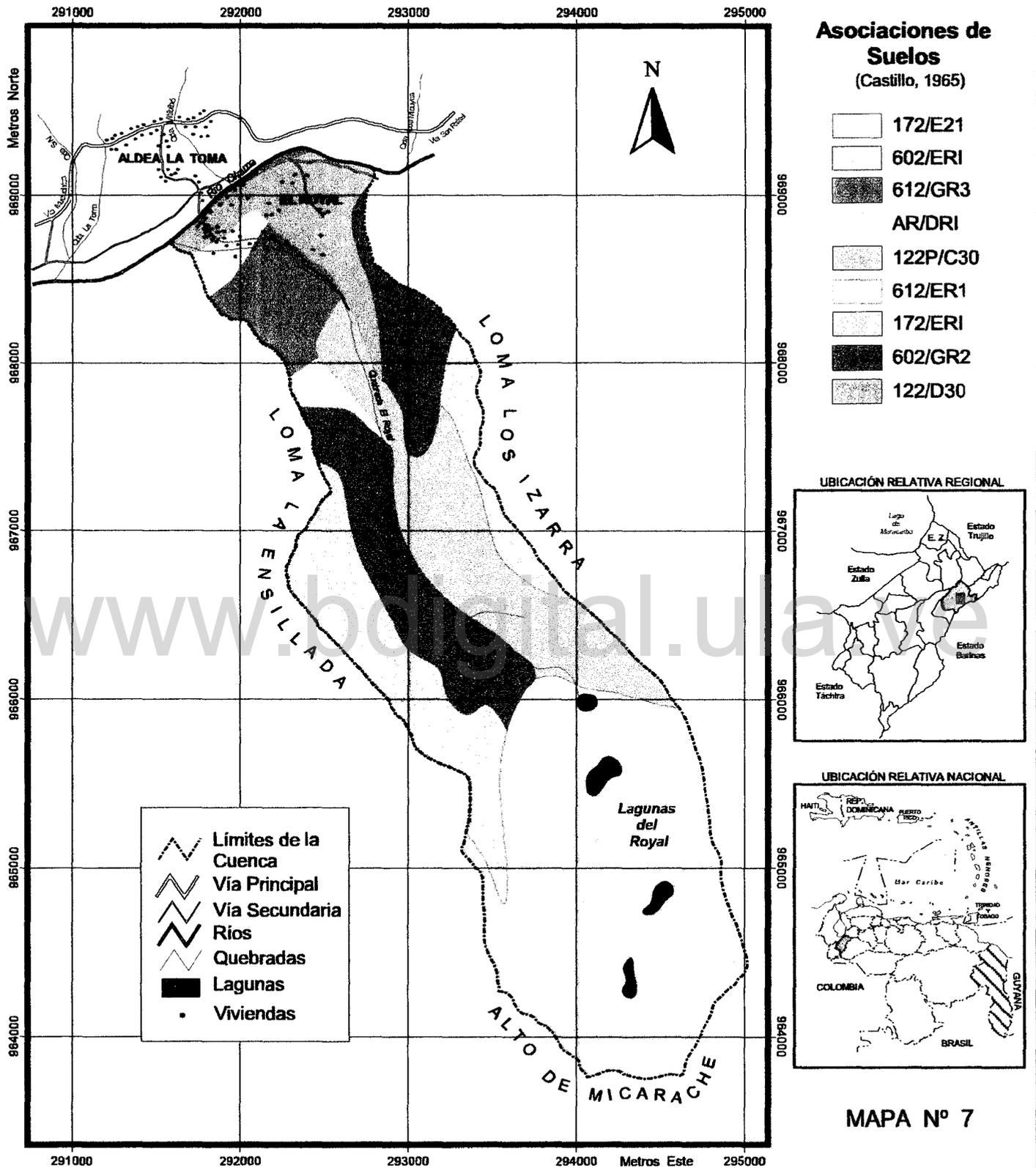
Las principales características de las asociaciones descritas (Mapa N° 7) para la microcuenca se muestran en el cuadro 1.

**Cuadro 1. Asociaciones de Suelos presentes en la Microcuenca.**

<b>Asociación</b>	<b>Materiales originarios</b>	<b>Textura</b>	<b>Pendiente %</b>	<b>Pedregosidad %</b>	<b>Grado relativo erosión</b>
<b>172/E21</b>	Transportados, actuales y recientes, materiales de morrenas.	Fa	35 a 50	1 a 3	Escurrecimiento difuso, poca erosión
<b>602/ERI</b>	Residuales, rocas metamórficas, gneises y esquistos de Asoc. Sierra Nevada	Fa	35 a 50	Rocoso.	Erosión geológica, escurrimiento moderado
<b>612/GR3</b>	Residuales, rocas metamórficas, gneises y esquistos de Asoc. Sierra Nevada	Fa	> 65	Rocoso.	Escurrecimiento concentrado, cárcavas
<b>AR/DRI</b>	Afloramiento rocoso		20 a 35	Rocoso.	Erosión geológica, escurrimiento moderado
<b>122P/C30</b>	Transportados, actuales y recientes, cono de deyección	Fa	10 a 20	3 a 15	Poco escurrimiento, erosión poca o ninguna.
<b>172/ERI</b>	Transportados, actuales y recientes, cono de deyección	Fa	35 a 50	Rocoso.	Erosión geológica, escurrimiento moderado
<b>602/GR2</b>	Residuales, rocas metamórficas, gneises y esquistos de Asoc. Sierra Nevada	Fa	> 65	Rocoso.	Escurrecimiento moderadamente concentrado, erosión laminar
<b>122/D30</b>	Transportados, actuales y recientes, cono de deyección	Fa	20 a 35	3 a 15	Poco escurrimiento, erosión poca o ninguna.
<b>612/ER1</b>	Residuales, rocas metamórficas, gneises y esquistos de Asoc. Sierra Nevada	Fa	35 a 50	Rocoso.	Escurrecimiento difuso, poca erosión

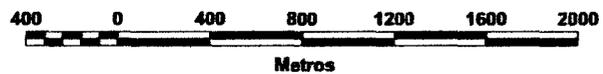
Fuente: Castillo. 1965.

# PRODUCTIVIDAD DEL SUELO Y RIESGO DE EROSIÓN. MICROCUEENCA EL ROYAL, ESTADO MÉRIDA.



- Límites de la Cuenca
- Vía Principal
- Vía Secundaria
- Ríos
- Quebradas
- Lagos
- Viviendas

FUENTE: Castillo, Juan B. Estudio de los Suelos de las partes altas de las Cuencas de los Ríos Chama y Santo Domingo. I.G.C.R.N. Año 1965.  
Elaborado, Digitalizado y Corregido Cartográficamente: Ing. Forestal Larisa Beatriz Valero Hernández, Año 2004.



## **Zonas Bioclimáticas**

Las zonas bioclimáticas se establecen en función del tipo de método utilizado. Se ha aplicado la metodología de Holdridge y la de Ataroff y Sarmiento, debido a que la primera es una metodología muy utilizada a nivel nacional y la segunda, es utilizada estrictamente en los Andes venezolanos.

1) El sistema de clasificación de Holdridge (Ewel y Madriz, 1968) se distingue porque define cuantitativamente la relación que existe en el orden natural entre los factores principales del clima y la vegetación. Los factores climáticos (Biotemperatura, precipitación y humedad ambiental) al actuar en forma integral, se consideran como los factores independientes o primordiales, mientras que los factores bióticos, manifestados conjuntamente en la fisonomía, la complejidad y las formas biológicas de la comunidad natural, se toman como esencialmente dependientes, es decir, subordinados a la acción del clima sobre el ecosistema en cualquier parte del mundo. Por eso, se da preferencia hoy día al nombre de Zonas de Vida aunque este término es, con obvias limitaciones semánticas, intercambiable con el de Formación Vegetal.

En el área de estudio, se han identificado tres (3) Zonas de Vida con características bien diferenciadas: (Mapa N° 8)

**Bosque Húmedo Montano:**

Climáticamente se caracteriza por presentar precipitaciones anuales entre 500 y 1000 mm, con temperaturas medias anuales comprendidas entre 5 y 13 °C. Ocupa una faja altitudinal comprendida entre 2500 y 3500 msnm.

Con relación al uso actual correspondiente, la vegetación ha sido muy intervenida, a tal extremo que el bosque original o clímax ya no existe. Solamente en las orillas de quebradas, crecen árboles de los géneros *Alnus*. Sobre los árboles se notan algunas epifitas, aunque no abundantes.

En laderas, posiblemente explotadas un tiempo y luego abandonadas, se nota una vegetación secundaria sumamente degradada. El suelo está cubierto por gramíneas y por arbustos con alturas entre tres y cuatro metros. Son muy ramificados y con copas de forma redondeada que llegan cerca del suelo.

Esta zona presenta un potencial agrario debido a que varios cultivos toleran las temperaturas bajas y permite una utilización intensiva. La papa, el ajo y la zanahoria constituyen los productos principales.

El pastoreo se practica a pequeña escala, principalmente con ganado vacuno. Los potreros son de pasto natural y están localizados sobre las laderas, pero el ganado también "ramonea" en los remanentes arbustivos y después de la cosecha, sobre los desechos de cultivos.

#### Páramo Subalpino:

Esta Zona de Vida se distribuye sobre una faja altitudinal comprendida entre los 3500 y 4000 msnm. Entre las características bioclimáticas se tienen precipitaciones que fluctúan entre los 500 y 1000 mm y temperaturas entre 3 y 5 °C, con una tasa de evaporación potencial bastante baja, lo cual le permite a esta zona mantener humedad gran parte del año, favoreciendo la demanda de agua por parte de la vegetación.

La vegetación correspondiente normalmente no pasa de un metro de altura y raramente logra cubrir completamente el suelo. El "frailejón" (*Espeletia schultzii*) y varias especies del género *Hypericum* se destacan por su color, tamaño y abundancia, pero un examen más detallado revela numerosos géneros de plantas de menor porte, principalmente caméfitas y hemicriptofitas. Con la excepción más notable del frailejón, con sus largas hojas peludas, predominan las plantas con hojas muy pequeñas y coriáceas. Ciertas gramíneas forman manojos, almohadillas o rosetas apretadas contra el suelo.

El "abrojo de los Andes" (*Aciachne pulvinata*) es una gramínea baja que, con otras plantas herbáceas dispersas, frecuentemente forma comunidades de cobertura continua en las partes llanas y menos empinadas. En las laderas rocosas, la

vegetación está compuesta por matas ralas de tamaño reducido, mientras que la mayoría de la superficie queda desnuda.

El pastoreo indudablemente ha cambiado la vegetación en la mayor parte de esta formación. Esta práctica, que aún con varias hectáreas por animal constituye un sobrepastoreo, parece haber modificado la composición florística y probablemente sea responsable de la ausencia de una cobertura vegetal completa en muchos lugares.

#### Tundra Pluvial Alpina:

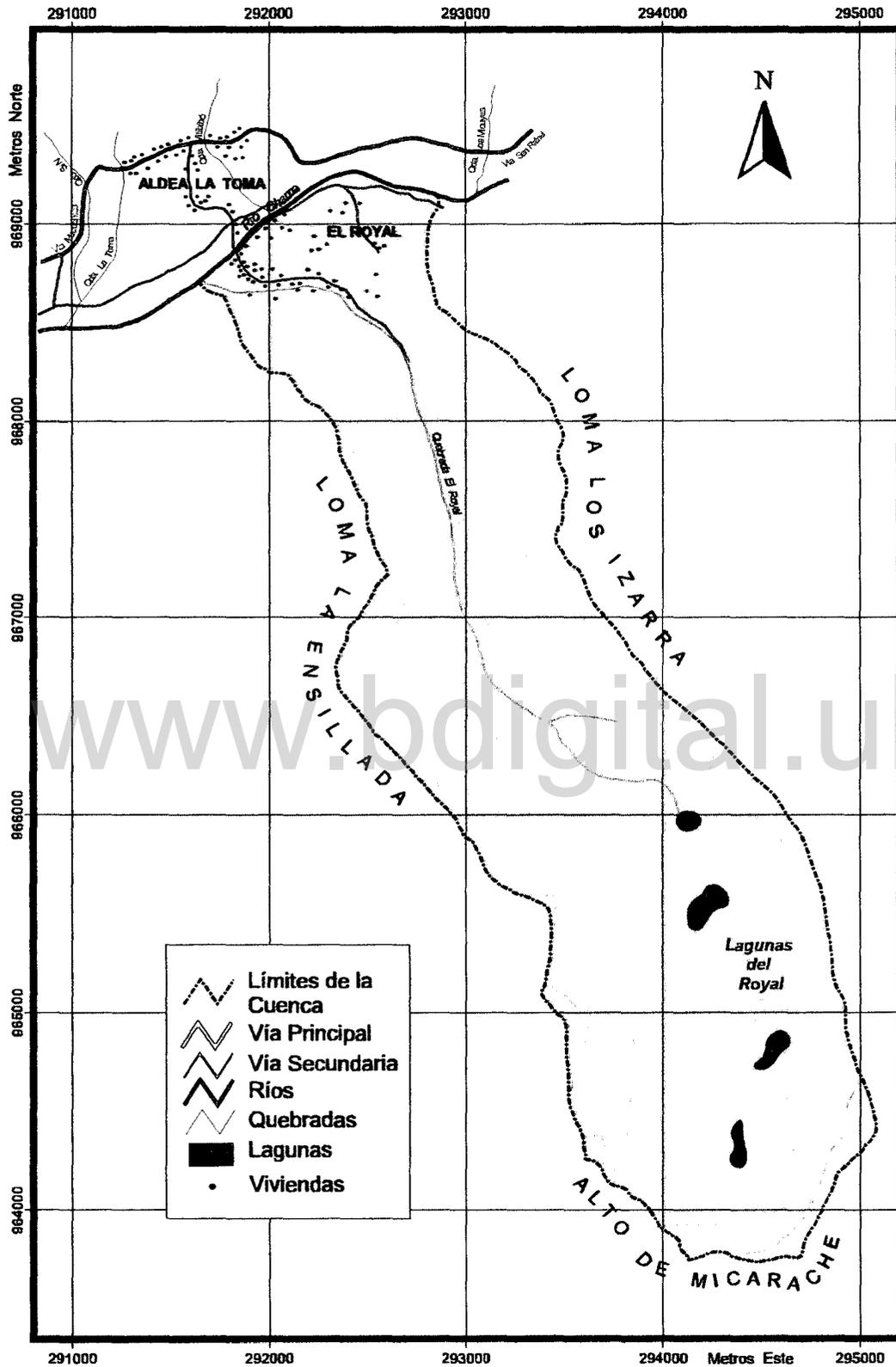
Ocupa pequeñas áreas de la microcuenca, a alturas que superan los 4.000 msnm. Presenta temperaturas que oscilan entre los 3 y 5 °C, ocurriendo temperaturas mínimas inferiores a 0 °C, razón por la cual, la variación térmica a nivel diario puede superar los 10 °C. La precipitación media anual está por encima de los 500 mm, cayendo una parte de esta en forma de nieve.

Debido a que la evaporación potencial es muy reducida, gran parte del agua se encuentra en el suelo, existiendo un exceso de humedad. Las drásticas condiciones térmicas limitan severamente el crecimiento y desarrollo de las especies vegetales en esta zona.

En cuanto a la cobertura actual, el suelo está casi desnudo y las pocas plantas allí presentes tienen forma de rosetas y almohadilla, siendo la *Draba pamplonensis* la dominante. Se encuentran comunidades de hemicriptofitas y de criptógamas.

Esta Zona de Vida se puede cubrir de nieve durante el invierno y por su posición cerca de las cimas de las montañas más altas, está expuesta a vientos fuertes; dos factores que acentúan la rigurosidad de su ambiente.

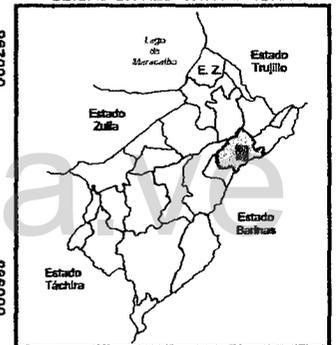
# PRODUCTIVIDAD DEL SUELO Y RIESGO DE EROSIÓN. MICROCUENCA EL ROYAL, ESTADO MÉRIDA.



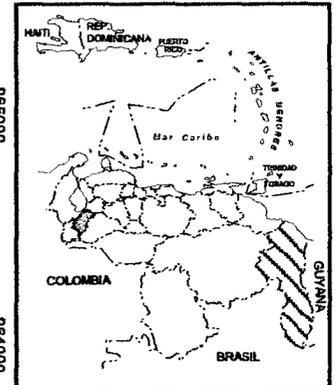
## ZONAS BIOCLIMÁTICAS (Holdridge)

- Bosque Húmedo Montano (bh - M)
- Páramo Subalpino (p - SA)
- Tundra Pluvial Alpina (t - PA)

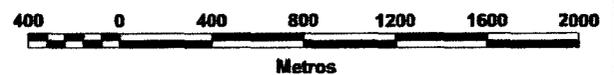
### UBICACIÓN RELATIVA REGIONAL



### UBICACIÓN RELATIVA NACIONAL



**MAPA N° 8**



FUENTE: Ministerio de Obras Públicas, Dirección de Cartografía Nacional, Hojas Seccionales: 6042-III-NO; 6042-III-NE; 6042-III-SE y 6042-III-SO. Escala 1: 25.000, Año 1974. Elaborado, Digitalizado y Corregido Cartográficamente: Ing. Forestal Larisa Beatriz Valero Hernández, Año 2004.

2) Respecto a las Unidades Ecológicas de los Andes de Venezuela, elaborado por Ataroff M. y Sarmiento L. (1998), referido al área de estudio. Esta clasificación se distingue por diferenciar unidades ecológicas, las cuales están definidas por la confluencia de un conjunto de características ambientales que son determinantes para la existencia de un ecosistema en particular. La temperatura, la precipitación, el sustrato, la topografía y la vegetación suelen ser los parámetros más importantes, siendo lo más sobresaliente de esta clasificación, el exhaustivo chequeo de campo. Esta clasificación utiliza una versión modificada de la metodología de Monasterios (1980), en la que se relacionan precipitación y altitud con cada unidad ecológica.

De acuerdo con esta clasificación se presentan también tres unidades que corresponden aproximadamente a lo indicado por las Zonas de Vida. Las tres unidades son:

#### Bosques Siempreverde Seco:

Los Bosques Siempreverdes Secos ocupan ambientes con bajas precipitaciones y relativamente frescos en Los Andes venezolanos. Puede distinguirse en el área la facie Alta de esta unidad, que se extiende desde los 2.000 a 2.900 m. Su distribución está restringida a las zonas medias y altas de las vertientes secas. Las precipitaciones anuales son bajas: entre 500 a 900 mm. Por sus bajas precipitaciones así como por las temperaturas medias anuales 10 y 15 °C, estos ambientes resultan propicios para el cultivo de trigo y otros cereales, por lo cual han recibido un fuerte impacto desde la época colonial.

La vegetación es de bosques bajos con dosel entre 10 y 15 m (aunque en la actualidad con frecuencia es menor de 4 m por efecto de la intervención humana) en él que las especies más importantes pertenecen a los géneros *Roupala*, *Escallonia*, *Psidium* *Rapanea*. En la facie destacan, además de *Chasia*, *Wemmamia* y *Dadonea*. En el sotobosque son por lo general comunes *Myrsine coriacea* y *Cassia aff, mutisiana*, haciéndose importantes los géneros *Stevia*, *Baechari*, *Cassia*, *Berberi*.

La baja humedad y alta radiación de estos ambientes ha favorecido la dominancia de especies cuyas hojas presentan adaptaciones especiales, como cubiertas de ceras. La mayoría de los árboles tiene troncos retorcidos, de maderas duras y con ramificación baja. Estas especies invaden con facilidad zonas de selva nublada que han sido taladas y abandonadas, pudiendo crecer una vegetación de bosque siempreverde seco en áreas que realmente tienen características de selva nublada.

#### Páramo Andino:

El páramo andino aparece por encima del límite continuo de crecimiento arbóreo, alrededor de los 3.000 m, donde la temperatura media desciende por debajo de 9°C que es cuando ocurren las heladas nocturnas. La frecuencia de heladas aumenta con la altitud; sin embargo en el piso andino están casi completamente restringidas a la época seca. Las precipitaciones pueden ser muy variables, entre 800 a 1.800 mm anuales, lo que determina la existencia de páramos secos y húmedos, entre los cuales varían la frecuencia de heladas y las características de la vegetación.

El relieve de esta unidad ecológica, caracterizado por morenas y valles glaciales en forma de U, se originó por efecto del modelado glacial que ocurrió durante el periodo Cuaternario.

Fisionómicamente la vegetación puede variar desde un rosetal casi puro, pasando por un rosetal–arbustal hasta llegar a un arbustal puro, dependiendo de la altitud, el drenaje y otros factores ambientales. El rosetal-arbustal es la formación más característica, consta de tres estratos principales. El primer estrato, entre 50 y 150 cm, está formado principalmente por frailejones (*Espeletia spp.*), pinuelas (*Puya spp.*) y por arbustos siempreverdes de varios géneros (*Hypericum*, *Pernetia*, *Hesperomeles*, *Chaetopelis*, entre otros). El segundo estrato, entre 20 y 50 cm, está dominado por gramíneas de los géneros *Poa*, *Calamagrostis* y *Bromus*, por arbustos bajos como *Hintherubera* y por hierbas (*Castilleja*, *Ortosanthus*, *Lupinus*). El tercer estrato, entre 0 y 20 cm, está formado por pequeñas gramíneas (*Agrostis*,

*Aciachne*) y otras hiervas (*Sysyrinchium*, *Geramiun*, *Lachemilla*, *Bidens*, *Hypochoeris*, *Acaena*).

En condiciones de poco drenaje, el arbustal-rosetal desaparece y la vegetación adquiere una fisonomía de pastizal o de pajonal. Los pastizales están dominados por gramíneas como (*Bromus*, *Calamagrostis*, *Hierochloe*, *Agrostis*, *Aciachne*) y por ciperáceas como las del género *Carex*. En condiciones más severas de inundación aparecen cojines de *Plantago* o tapetes de *Hydrocotyle*. En los pajonales dominan gramíneas en macolla tales como las de los géneros *Calamagrosti*, *Cortaderia*, *Stipa*.

En el páramo andino la existencia de una época del año libre de heladas hace posible el uso agrícola. En los páramos más húmedos el cultivo más tradicional es la papa, mientras que en los más secos es el trigo. Hacia el límite inferior se cultivan hortalizas, ajo, flores, etc. Además de la agricultura, el Páramo es utilizado para el pastoreo extensivo, principalmente de vacunos y equinos.

Páramo Altiandino:

En el páramo altiandino la temperatura media es de 2,5 °C. Las precipitaciones van desde 800 mm en el extremo más seco hasta 1.200 en el más húmedo. A pesar de la aparente abundancia de agua, muchas veces se produce déficit hídrico porque la misma se encuentra congelada. Las nevadas también son frecuentes en el Páramo Altiandino durante la época de mayores precipitaciones, pero la nieve solo permanece pocas horas.

El páramo altiandino puede ser definido como un desierto con grandes superficies de suelos desnudos y distribución muy discontinua de la vegetación, lo cual es otra diferencia importante con respecto al Páramo andino donde la cobertura vegetal es casi total. Se distinguen dos tipos de vegetación dentro del Páramo Altiandino: el Páramo Desértico y el Desierto Periglacial, según un grado de desertización creciente. El Páramo Desértico está dominando exclusivamente por rosetas gigantes arborescentes del género *Espeletia*, que alcanzan entre 3 y 4 m de altura. El estrato inferior, entre 0 y 40 cm está dominado por plantas en cojín (por ejemplo *Arenaria*, *Azorella*, *Aciachne* y *Mona*), pequeñas rosetas acaules

(como *Hypochoeris*, *Calandrinia*, *Malvastrum*) y por pequeños arbustos (como *Hinterhubera*, *Senecio* y *Draba*).

El Desierto Periglacial consta de un único estrato que no sobrepasa los 40 cm de altura, la cobertura es normalmente menor del 5 % y las especies dominantes son las mismas que ocupan el estrato inferior del Páramo Desértico.

Debido a las condiciones extremas de temperatura, el Páramo Altiandino no es utilizado para actividades agrícolas. El uso de la tierra se restringe a un pastoreo muy extensivo de ganado vacuno y equino (Mapa N° 9).

### ***Uso Actual de la Tierra***

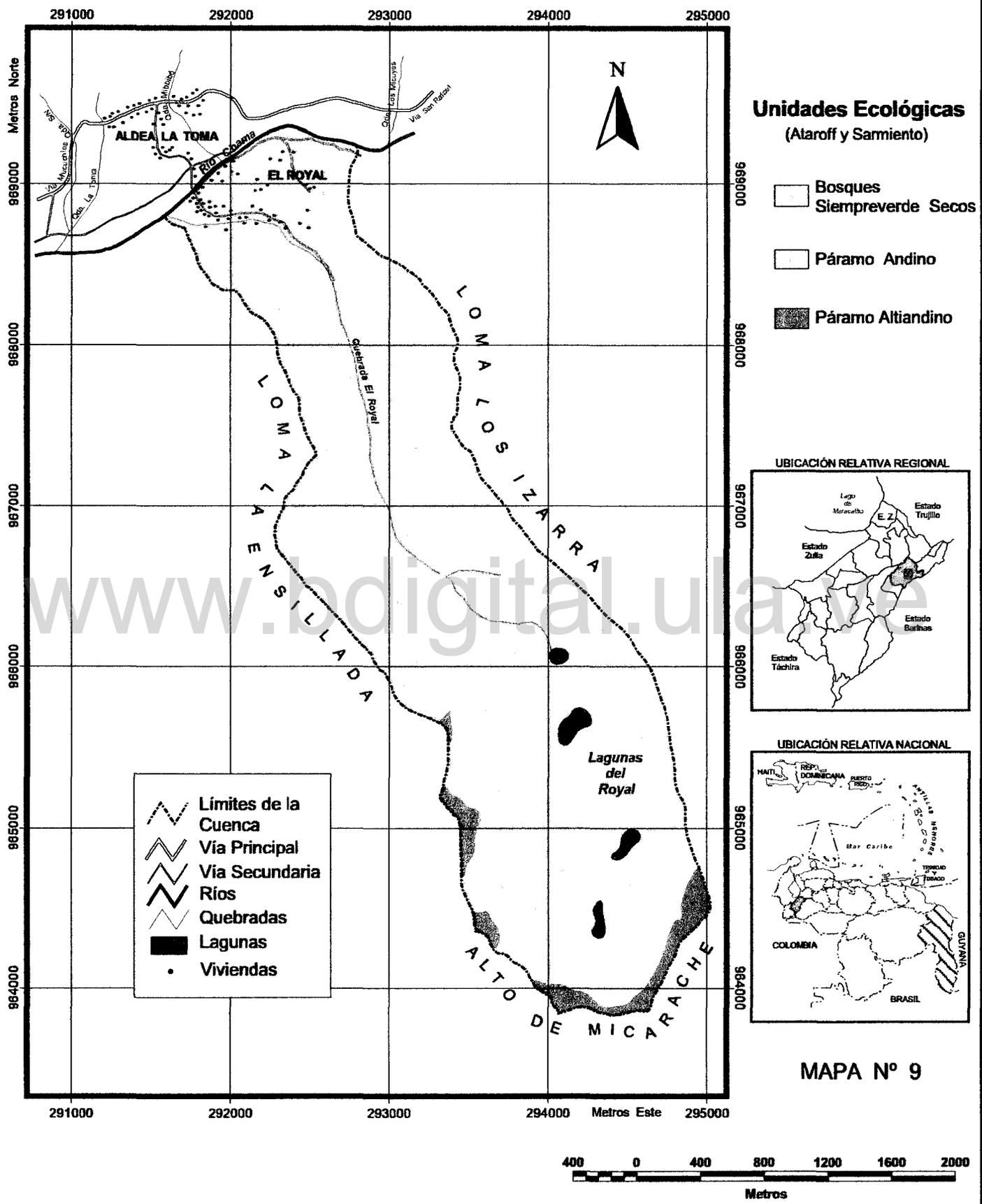
El uso de la tierra puede ser definido como la utilización del recurso tierra con el fin de obtener los máximos beneficios posibles, así como satisfacer las necesidades de una determinada población, partiendo de la implementación de un conjunto de técnicas agronómicas acordes a la realidad del lugar (Flores y Manzanilla, 1999).

La microcuenca así como las áreas adyacentes, han sido utilizadas bajo agricultura intensiva a lo largo de los años, dadas las características agroecológicas y socioeconómicas de importancia local y regional que presenta, siendo reconocida como una de las áreas representativas de sistemas de producción de horticultura de piso alto en la región andina.

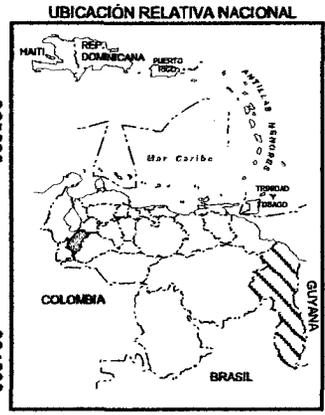
Actualmente el uso de la tierra en la microcuenca es en su mayoría agrícola, específicamente producción de hortalizas (ajo, brócoli, coliflor), raíces (zanahoria) y tubérculos (papa). Los mayores y mejores cultivos (papa, zanahoria, ajo, brócoli) se ubican en el fondo del valle y en pequeños sectores en las vertientes. En las vertientes medias y altas la mayor actividad es el pastoreo extensivo, sobre vegetación natural o algunas áreas se dedican a cultivos tradicionales, adaptados a la zona, como papa negra, trigo, cebada y avena.

Castillo (1965) clasificó el uso de la tierra del sector como clase III (uso agrícola) y VI (vegetación permanente), de acuerdo a sus características.

# PRODUCTIVIDAD DEL SUELO Y RIESGO DE EROSIÓN. MICROCUENCA EL ROYAL, ESTADO MÉRIDA.



- Unidades Ecológicas**  
(Astaroff y Sarmiento)
- Bosques Siempreverde Secos
  - Páramo Andino
  - Páramo Altiandino



**MAPA N° 9**

FUENTE: Universidad de Los Andes. Facultad de Ciencias. Centro de Investigaciones de Los Andes Tropicales (CIELAT). Año 1998  
Elaborado, Digitalizado y Corregido Cartográficamente: Ing. Forestal Larisa Beatriz Valero Hernández, Año 2004.

De acuerdo a Mora *et al* (2001) el uso potencial desde el punto de vista agrícola es de tierras aptas para una horticultura moderna o semi-moderna en el fondo del valle, uso agrícola semi-intensivo en pequeñas áreas en las vertientes, y en el resto de la microcuenca se tienen tierras no aptas para uso agrícola siendo el uso adecuado el conservacionista y recreacional.

Este uso actual es el reflejo de un uso regulado, ya que el área se encuentra ubicada dentro del Área Bajo Régimen de Administración Especial (ABRAE), Parque Nacional Sierra Nevada, que comienza desde las márgenes del Río Chama, por lo que la totalidad de la microcuenca pertenece a esta figura jurídica.

Como los usos están regulados por Ley (Plan de Ordenamiento y Reglamento de Uso del Parque Nacional Sierra Nevada. Capítulo V, Artículo 11) esta zonificación es de acuerdo a la singularidad, fragilidad, valor de los recursos naturales de cada uno de los espacios que lo conforman y de los usos y actividades existentes para la fecha de su creación.

La microcuenca está zonificada en tres áreas de uso:

1.- *Zona de Uso Especial Hortícola (ZUE)*: Comprende los terrenos ubicados entre la cabecera del cono de deyección de la quebrada El Royal y el Río Chama.

2.- *Zona de Amortiguación (ZA)*: Comprende todos aquellos terrenos ubicados por debajo de la curva de nivel de 3.400 msnm, excluyendo de esta zona los terrenos definidos anteriormente como zona de Uso Especial Hortícola El Royal.

Dentro de la zona de uso especial y la de uso de amortiguamiento sólo se podrá autorizar o aprobar:

- Las actividades de recuperación de áreas degradadas.
- El aprovechamiento turístico recreacional de la actividad agrícola y sus procesos (agroturismo).
- La construcción de posadas turísticas rústicas como edificaciones de apoyo a la actividad anterior.
- Las actividades agrícolas en pendientes menores al 30%. En casos en que la pendiente sea mayor al 30% para el momento de la aprobación del presente decreto, deberán contar con obras de conservación de suelos.
- Las actividades de investigación, educación, recreación y turismo.

- La construcción remodelación y ampliación de las viviendas de los pobladores mediante el respectivo estudio socioeconómico y técnico que demuestre su factibilidad y siempre que se adecue seguir a los objetivos del Parque Nacional.
- Las instalaciones y laboratorios para el desarrollo de la actividad científica.
- La continuación de las actividades agrícolas y pecuarias existentes incluyendo truchiculturas comunitarias y aquellas actividades basadas en el concepto de desarrollo rural sustentable.
- Cualquier infraestructura sólo podrá ubicarse por debajo de la cota 2.900 msnm.

3.- *Zona Primitiva o Silvestre (P)*: Comprende toda el área restante de la microcuenca.

En ella sólo se podrá aprobar o autorizar:

- Las actividades de Investigación científicas, de educación ambiental y de guardería ambiental.
- La pesca de truchas, tanto deportiva como de subsistencia, en los cuerpos de agua señalados por la Superintendencia del Parque Nacional.
- El excursionismo y la escalada a través de los senderos y rutas especialmente señalados a tal término.
- La circulación de bestias a través de aquellos caminos y senderos que a tal fines determine la Superintendencia del Parque Nacional sin restricción a los habitantes tradicionales del Parque Nacional siempre y cuando se sujeten a lo establecido en el presente decreto.
- El acampamento en las áreas específicamente señaladas.
- La instalación de señalamientos, carteles informativos o educativos y puestos de guardaparques. (Mapa 10a)

Se puede concluir que la actividad agrícola actual en el cono de deyección es a nivel tradicional, no mecanizado, debido a la existencia de una restricción legal y no por el bajo poder adquisitivo de sus habitantes (Mapa 10b). Es por eso que el

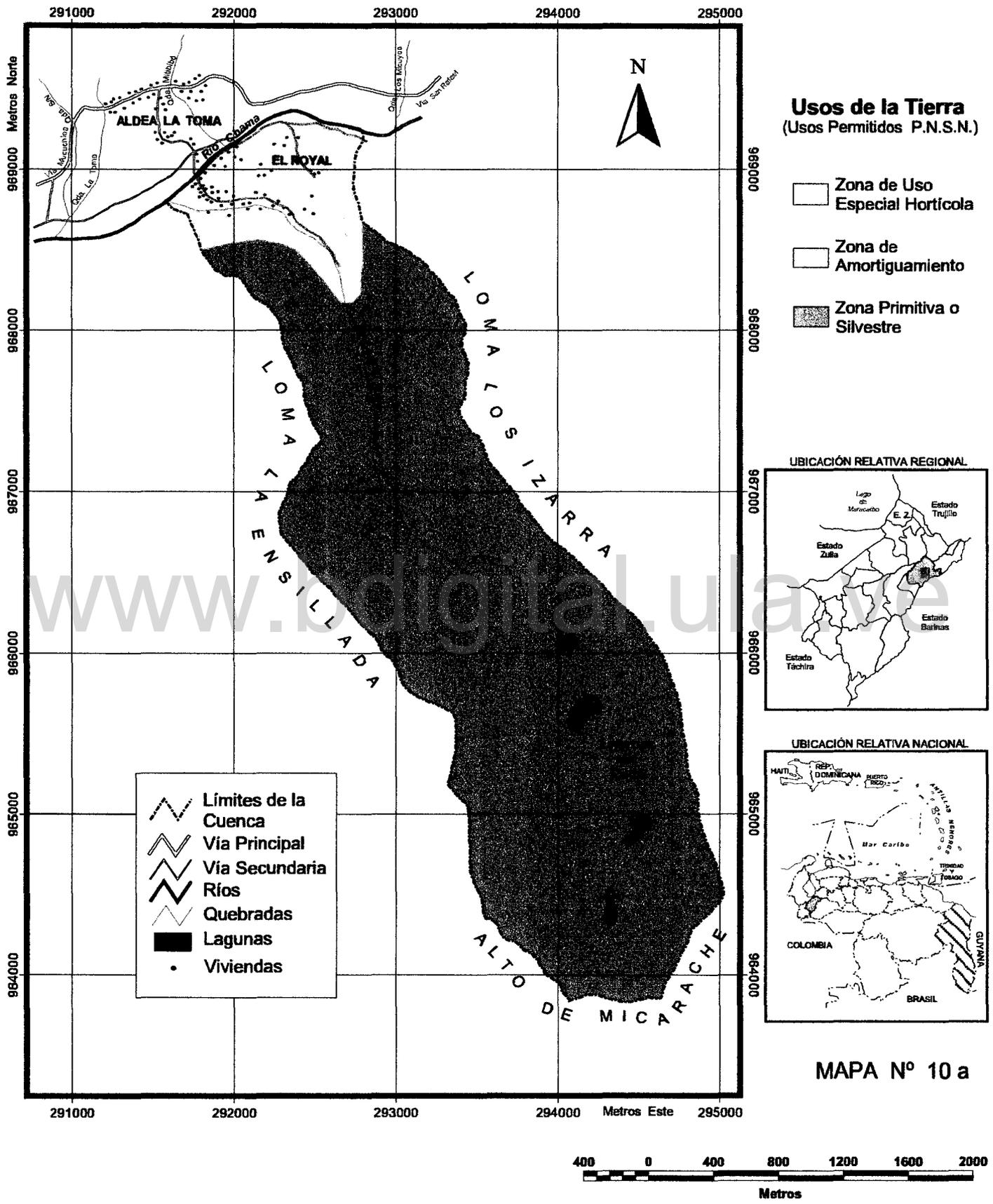
sector no ofrece competencia en el sector agrícola con las demás áreas que no están reguladas.

Se observó que los productores no siguen a cabalidad el concepto de conservación de suelos y aguas, ya que usan agroquímicos sin ningún asesoramiento en la materia.

Por otro lado se pudo observar que los agricultores se quejan mucho debido al abandono que tienen por parte de INPARQUES, a proyectos de agroturismo o ecoturismo que mucho necesitan para así mejorar su calidad de vida.

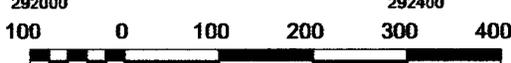
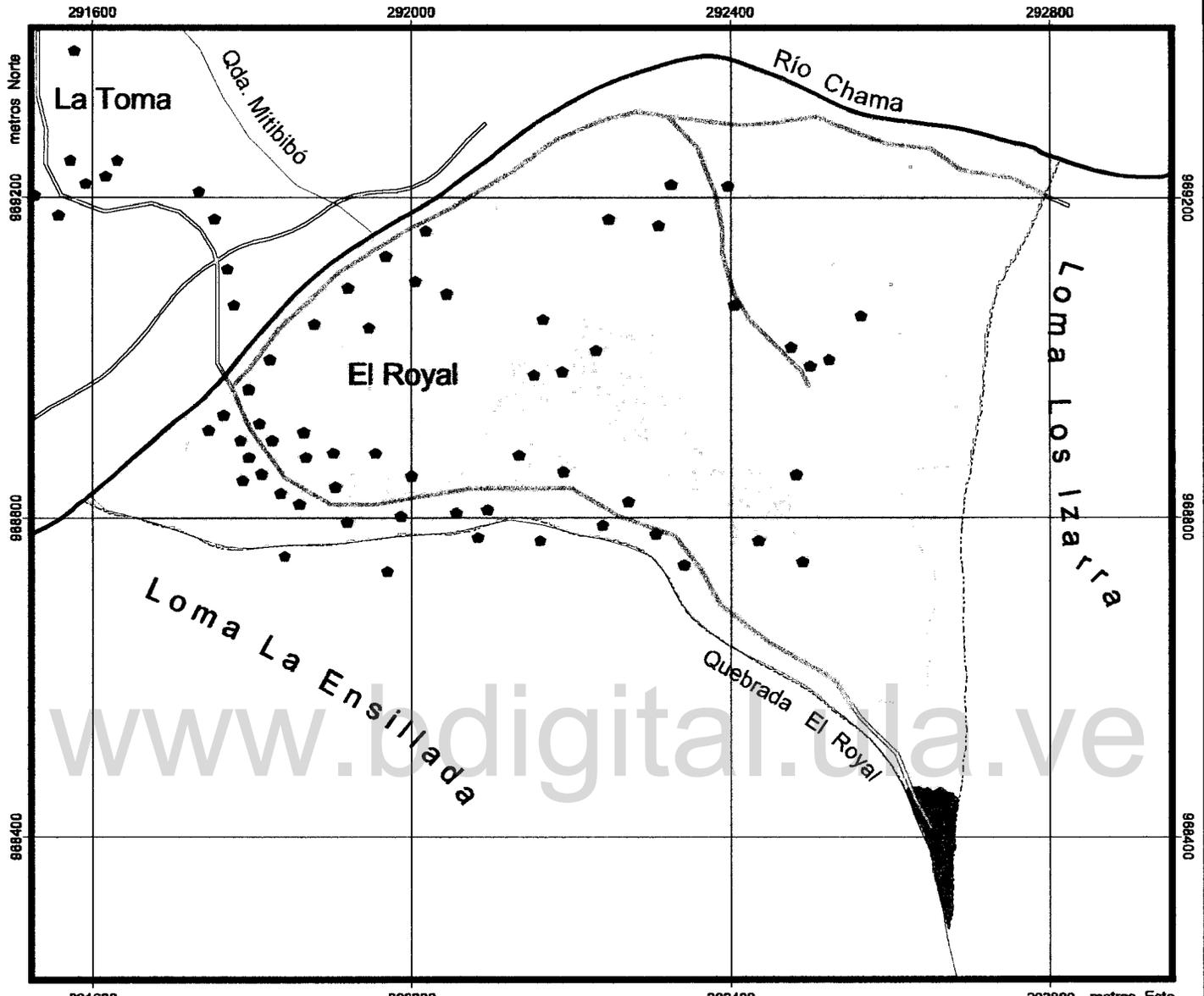
[www.bdigital.ula.ve](http://www.bdigital.ula.ve)

# PRODUCTIVIDAD DEL SUELO Y RIESGO DE EROSIÓN. MICROCUENCA EL ROYAL, ESTADO MÉRIDA.

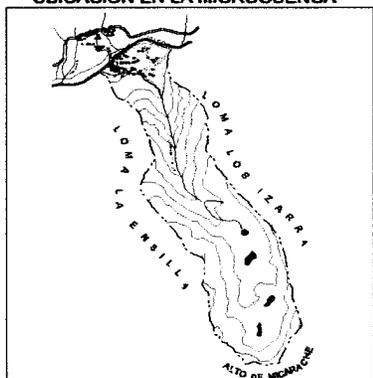


FUENTE: Reglamento de Usos del Parque Sierra Nevada. Artículo 11, IX literal C. Año 1986  
Elaborado, Digitalizado y Corregido Cartográficamente: Ing. Forestal Larisa Beatriz Valero Hernández, Año 2004.

# PRODUCTIVIDAD DEL SUELO Y RIESGO DE EROSIÓN. CONO EL ROYAL, ESTADO MÉRIDA



**UBICACIÓN EN LA MICROCUENCA**



## USO ACTUAL DE LA TIERRA

- |   |                                |   |                 |
|---|--------------------------------|---|-----------------|
|  | Cultivos Hortícolas Intensivos |  | Límite del Cono |
|  | Pastizales                     |  | Vías            |
|  | Bosques Secundarios            |  | Ríos            |
|  | Áreas Pedregosas               |  | Quebradas       |
|   |                                |  | Viviendas       |

**UBICACIÓN RELATIVA ESTADAL**



FUENTE: Elaboración Propia. Chequeo de Campo. año 2004  
Elaborado, Digitalizado y Corregido Cartográficamente por Ing. Forestal Larisa B. Valero Hernández, año 2004.

**MAPA Nº 10 b**

## CAPÍTULO IV

### METODOLOGÍA Y PROCEDIMIENTO METODOLOGÍCO

Para el desarrollo del trabajo, se aplicaron dos metodologías de clasificación de tierras, el Sistema de clasificación de tierras montañosas tropicales (Sheng, 1971) y el Sistema de evaluación de la calidad de tierras agrícolas con fines de conservación de suelos en áreas montañosas de los Andes venezolanos (Delgado, 2003).

La clasificación de Sheng ha sido usada a nivel de cuencas y microcuenca es decir a nivel de semidetalle (1:25.000 - 1:50.000). Sin embargo cuando se trata de sectores de tratamiento dentro de una microcuenca (abanicos, vertientes, laderas) en donde se requiere mayor grado de detalle y un análisis más cuantitativo sobre las características de las tierras y los factores de productividad del suelo y riesgo de erosión, la metodología de Sheng no aporta elementos suficientes para estos factores. Por esa razón se trabajó con la metodología de Sheng a una escala de semidetalle (1:25.000) para toda la microcuenca y para el sector del cono se aplicaron las dos metodologías Sheng y Delgado a una escala de detalle (1:5.000).

#### **1. Sistema de clasificación de tierras montañosas tropicales (Sheng, 1971).**

Este sistema de clasificación de tierras es desarrollado por Sheng (1971). Es un modelo especialmente dirigido al tratamiento de cuencas hidrográficas. En este modelo se plantea una metodología sencilla, la cual indica el tipo de cultivo o cubierta vegetal que debería existir en un espacio que reúne determinadas características de pendiente y profundidad del suelo. Para el factor pendiente del terreno se consideran 6 rangos de pendiente y para el factor profundidad 4 rangos de profundidad (Cuadro 2). Al integrar los dos factores (pendiente y profundidad del suelo) por medio de superposición cartográfica, se obtienen las diferentes

categorías de capacidad de uso de la tierras como son: áreas de cultivo, pastizales, frutales, unidades forestales y la combinación que de estas se deriven (Cuadro 2).

**Cuadro 2. Clasificación de Tierras Marginales Tropicales (modificado de Hidalgo, 1984; en base a Sheng, 1971).**

Pendiente \ Profundidad	Suave (< 12%)	Moderada (12-25%)	Moderadamente pronunciada (25-35%)	Pronunciada (35-50%)	Muy Pronunciada (50-60%)	Escarpada (> 60%)
Muy poco profundo (<20 cm.)	C <sub>1</sub> / P	P	P	P	F	F
Poco profundo (20-50cm)	C <sub>1</sub>	C <sub>2</sub> / P	C <sub>3</sub> / P	P	F	F
Moderadamente profundo (50-90cm)	C <sub>1</sub>	C <sub>2</sub>	C <sub>3</sub>	C <sub>4</sub> / P	AF / F	F
Profundo (> 90 cm.)	C <sub>1</sub>	C <sub>2</sub>	C <sub>3</sub>	C <sub>4</sub>	AF	F

C<sub>1</sub>= tierras cultivables con medidas extensivas de conservación de suelos, mecanización posible.

C<sub>2</sub>= tierras cultivables con medidas intensivas de conservación de suelos, mecanización posible con equipos especiales.

C<sub>3</sub> = tierras cultivables a mano con medidas intensivas de conservación de suelos.

AF = árboles frutales sobre terrazas de huerto, con prácticas intensivas de conservación.

P = pastizales mejorados y manejados.

F = forestal, vegetación densa. Explotación forestal o cultivos permanentes con prácticas muy intensivas de conservación.

Esta metodología principalmente es con fines agrícolas, es sencilla, de rápida y fácil aplicación, las prácticas conservacionistas propuestas por la metodología son en su mayoría, obras o estructuras de conservación de suelos, una ventaja de la metodología es poder ser una herramienta indispensable en la Ordenación del Territorio a escala municipal, Cuencas o Sub-cuencas, lo que permite obtener una visión general del uso agropecuario y forestal de la zona. Esta metodología ha sido utilizada en algunas cuencas de los Andes venezolanos para establecer propuestas conservacionistas con ayuda de herramientas de toma de decisión (SIG).

## **2. Evaluación de la calidad de tierras agrícolas con fines de conservación de suelos en áreas montañosas de los Andes venezolanos.**

Este método es desarrollado por Delgado (2003) el cual consiste básicamente en cuantificar las dos cualidades de la tierra sobre las cuales se sustenta la clasificación: **la productividad del suelo** y **el riesgo de erosión**. Aplicando métodos multifactoriales, se obtienen dos índices: **el índice de productividad del suelo (IP)** y **el índice de riesgo de erosión (IRE)**, cada uno de los cuales evalúa la calidad de tierra respectiva de acuerdo a las siguientes funciones:

$IP = f(\text{características biofísicas del suelo que favorecen el crecimiento de raíces})$

$IRE = f(\text{características físicas de la tierra que favorecen la erosión hídrica}).$

Posteriormente, el valor de ambos índices se introduce en una matriz de doble entrada, en la cual se indican las distintas clases de tierra, en función de la productividad del suelo y el riesgo de erosión. En esta matriz se señalan, además, las prioridades y los requisitos generales de conservación de suelos, así como los usos más prometedores para cada una de las clases de tierra definidas.

El método es aplicable a unidades de tierra con información a escala de microcuencas.

Las dos cualidades se evalúan de la manera siguiente:

### **a. Productividad del suelo**

La evaluación de la productividad del suelo se realiza a través del modelo Índice de Productividad (IP), en este caso sólo se evaluará la productividad del *horizonte superficial del suelo*. La premisa básica que sustenta esta modificación se debe a que los cultivos predominantes en este sector de los Andes son fundamentalmente hortícolas, con una capacidad explorativa de la raíces relativamente baja, generalmente con profundidades potenciales de enraizamiento menor a 40 cm. Por tal motivo se evaluará solamente el Índice de Productividad

(IP) en el horizonte superficial del suelo, ponderado en función del espesor de este horizonte. El índice se calculará con el siguiente modelo multifactorial:

$$IP = A \cdot B \cdot C \cdot K \quad (1)$$

Donde:

**IP** = Índice de Productividad (tiene un valor entre 0 y 1).

**A** = Factor que evalúa las condiciones que regulan las *relaciones agua-aire* del horizonte superficial (tiene un valor entre 0 y 1).

**B** = Factor que evalúa condiciones que determinan las *resistencias mecánicas* (impedancias) a la exploración radical del cultivo en el horizonte superficial (tiene un valor entre 0 y 1).

**C** = Factor que evalúa condiciones que regulan la *fertilidad potencial* del horizonte superficial (tiene un valor entre 0 y 1).

**K** = Factor de ponderación en relación al espesor del suelo superficial

Para todos los factores del índice de productividad mencionados anteriormente, el valor **1,0** corresponderá solamente a la *condición óptima* que ofrece el factor para el crecimiento radical. Es decir, el factor valdrá **1,0** solamente cuando la condición de suelo que representa el factor respectivo no ofrezca ningún grado de limitación al desarrollo y crecimiento de las raíces del cultivo indicador.

La interacción **suelo-clima** es una de las consideraciones más resaltantes en el momento de evaluar el índice de productividad del suelo. A los efectos de considerar el clima, la metodología considera la relación entre precipitación (P) y evapotranspiración (ETP) como criterio para definir los tipos climáticos, tal como se muestra en el Cuadro 3.

**Cuadro 3. Tipos climáticos en función de la relación P/ETP (Delgado 2003).**

Tipo climático	Relación P/ETP
Seco	< 0,50
subhúmedo a seco	0,50 - 2,00
Húmedo	> 2,00

### **Factor A**

Este factor evalúa las condiciones que regulan las **relaciones agua-aire** del horizonte *i* del suelo respectivo. Tales relaciones están determinadas básicamente por dos subfactores: por un lado la *capacidad de retención de agua útil en el suelo* (subfactor  $A_1$ ), y por el otro lado la *capacidad de aireación del suelo* (subfactor  $A_2$ ).

### **Subfactor $A_1$**

Evalúa el impacto de la **capacidad de almacenamiento de agua útil**, es decir agua en el suelo que está retenida entre un límite superior (capacidad de campo) y un límite inferior (marchitez permanente) de aprovechamiento por los cultivos. El *límite superior* de agua aprovechable (capacidad de campo) es la cantidad de agua retenida con una determinada succión mátrica, que, para el caso de suelos de los Andes venezolanos dependerá de la textura del suelo, según se indica en el Cuadro 4.

**Cuadro 4. Succión mátrica del suelo correspondiente con el límite superior de agua útil (capacidad de campo), en función de la textura (Delgado 2003).**

Textura predominante	Succión mátrica a capacidad de campo (kPa)
Fina	- 50
Media	- 30
Gruesa	- 15

Para el *límite inferior* de agua aprovechable (marchitez permanente), se utiliza la cantidad de agua retenida a una succión mátrica de  $-1500$  kPa.

Ambos límites de agua aprovechable son valores indirectos obtenidos en laboratorio, utilizando platos y ollas de presión. El valor de agua útil se calcula

después con la ecuación 2, previa corrección por presencia de fragmentos gruesos en el perfil.

$$W = LS - LI \quad (2)$$

donde:

**W** es el contenido de agua útil (% en peso)

**LS** es el límite superior de agua útil (% en peso)

**LI** es el límite inferior de agua útil (% en peso)

Los valores del subfactor  $A_1$  se obtienen de las relaciones indicadas en el Figura 3.

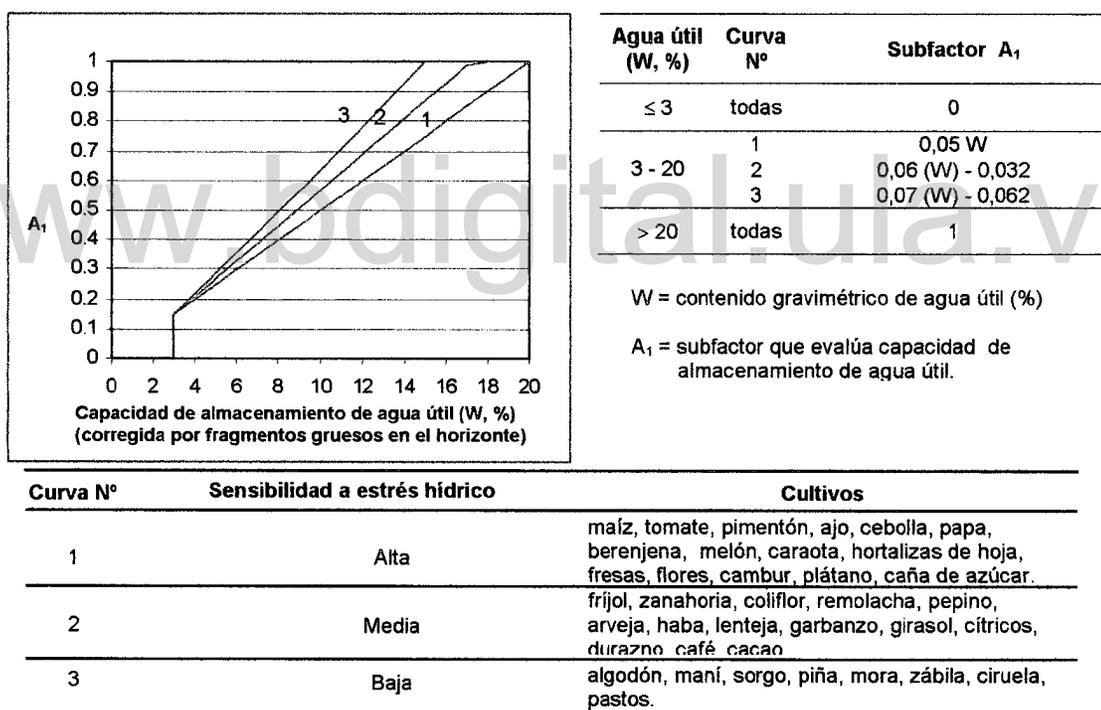
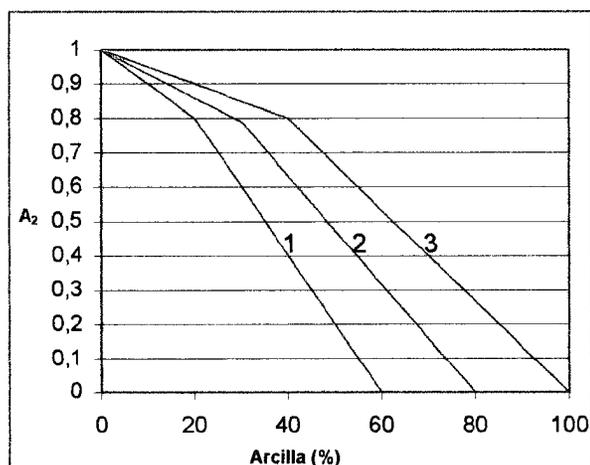


Figura 3. Curvas de suficiencia para evaluar el subfactor  $A_1$ : capacidad de almacenamiento de agua útil en el suelo (agua retenida entre el límite superior de agua útil y el límite inferior de agua útil) (Delgado 2003).

### Subfactor $A_2$

Evalúa las **condiciones que favorecen la aireación**, estimada a partir del contenido de arcilla y del grado de desarrollo de la estructura de suelo del horizonte  $i$ , como se muestra en el Figura 4.



Curva N°	Estructura del suelo	arc	$A_2$
1	Débil	$\leq 20$	$1,0-0,01(\text{arc})$
		$> 20$	$1,2-0,020(\text{arc})$
2	Moderada	$\leq 30$	$1,0-0,007(\text{arc})$
		$> 30$	$1,3-0,016(\text{arc})$
3	Fuerte	$\leq 40$	$1,0-0,005(\text{arc})$
		$> 40$	$1,3-0,013(\text{arc})$

arc = contenido de arcilla (%)  
 $A_2$  = subfactor que evalúa capacidad de aireación del suelo

Figura 4. Curvas de suficiencia que condicionan la aireación del suelo (Delgado 2003).

La selección del sub-factor determinante se hace en correspondencia con el clima, de acuerdo a las siguientes consideraciones:

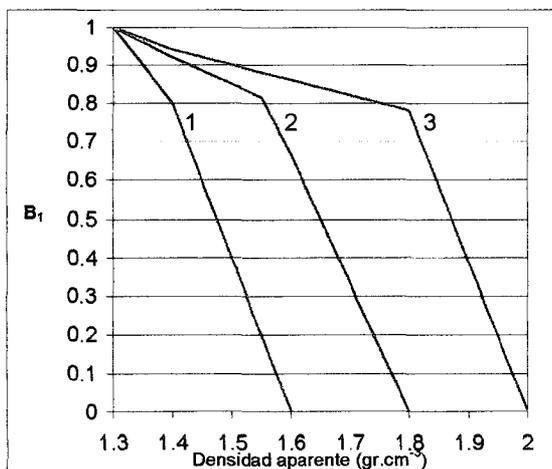
- En clima seco ( $P/ETP < 0,50$ ):  $A = A_1$
- En clima húmedo ( $P/ETP > 2,00$ ):  $A = A_2$
- En clima subhúmedo a seco ( $0,50 \leq P/ETP \leq 2,00$ ):  $A =$  valor más limitante (el menor valor numérico) entre  $A_1$  y  $A_2$

### Factor B

Evalúa condiciones que determinan las **resistencias mecánicas** (impedancias) a la exploración radical del cultivo en el horizonte  $i$ .

### Subfactor $B_1$

Evalúa el efecto de la **compactación** del horizonte respectivo, a partir de la densidad aparente relacionándola con la textura predominante del suelo, según se muestra en el Figura 5.



Curva Nº	Texturas	DA	B <sub>1</sub>
1	finas	1,30 – 1,40	3,6- 2 (DA)
		1,41 – 1,60	6,4 -4 (DA)
2	medias	1,30 – 1,55	1,9-0,7(DA)
		1,56 – 1,80	6 -3,33(DA)
3	gruesas	1,30 – 1,80	1,5-0,4 (DA)
		1,81 – 2,00	8 - 4 (DA)

B<sub>1</sub> = 1 si DA < 1,30 (para cualquier textura)

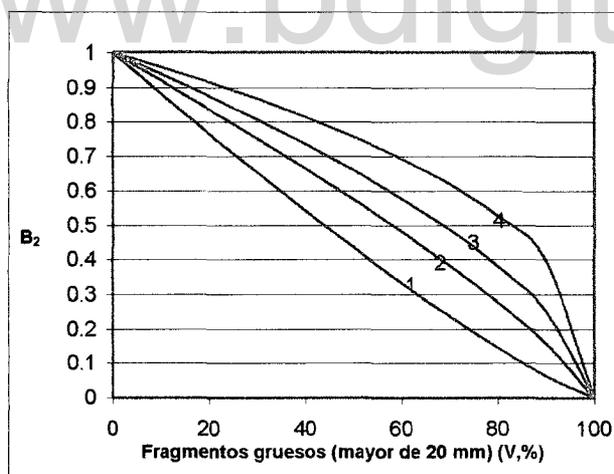
DA = densidad aparente (g.cm<sup>-3</sup>)

B<sub>1</sub> = valor del subfactor que evalúa compactación.

Figura 5. Curvas de suficiencia para evaluar el efecto de la compactación del suelo sobre el crecimiento de raíces (Delgado 2003).

### Subfactor B<sub>2</sub>

Evalúa la resistencia que ofrecen los **fragmentos gruesos** en el suelo (> 20mm de diámetro), sobre el crecimiento de raíces, según se muestra en el Figura 6.



$$B_2 = (1 - g)^r$$

B<sub>2</sub> = subfactor que evalúa el contenido de fragmentos gruesos.

g = fracción decimal volumétrica de **fragmentos gruesos** con diámetro equivalente **mayor de 25 mm**.

r = coeficiente de capacidad explorativa de las raíces

r	capacidad explorativa	cultivos
1,20	baja	lechuga, repollo, coliflor, ajo, cebolla, zanahoria, remolacha, papa.
0,80	moderada	maíz, sorgo, frijol, caraota, soya, tomate, pimentón, yuca, berenjena, pepino, melón, patilla, piña, musáceas.
0,60	alta	cacao, café, caña de azúcar, pastos.
0,40	muy alta	árboles frutales.

Figura 6. Curvas de suficiencia para la evaluación de la resistencia que ofrecen los fragmentos gruesos en el suelo sobre el crecimiento de raíces (Delgado 2003).

La selección del subfactor determinante se hace de acuerdo a las siguientes consideraciones:

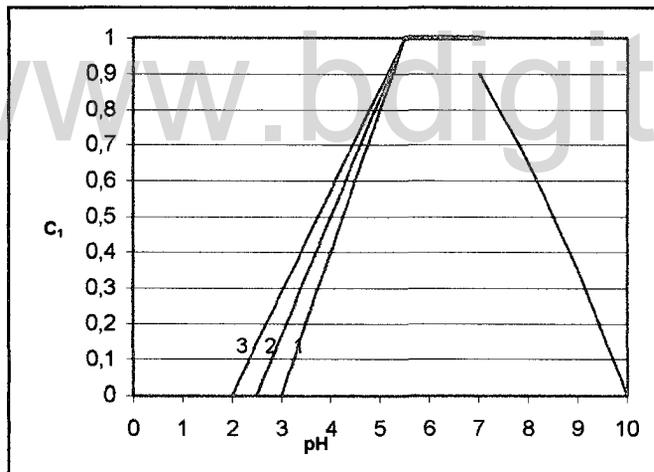
- Si el contenido volumétrico de fragmentos gruesos en el horizonte del suelo es  $\leq 30\%$ , entonces:  $B = B_1$  (densidad aparente)
- Si el contenido volumétrico de fragmentos gruesos en el suelo es  $> 30\%$ , entonces:  $B = B_2$  (fragmentos gruesos).

### Factor C

Evalúa condiciones que regulan la **fertilidad potencial** del horizonte *i*.

#### Subfactor $C_1$

Evalúa la reacción del suelo (**pH**), según se muestra en el Figura 7.



Curva N°	Tolerancia a la acidez	$C_1$
1	Baja	$0,4 (pH) - 1,2$
2	moderada	$0,333 (pH) - 0,833$
3	Alta	$0,286 (pH) - 0,571$

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

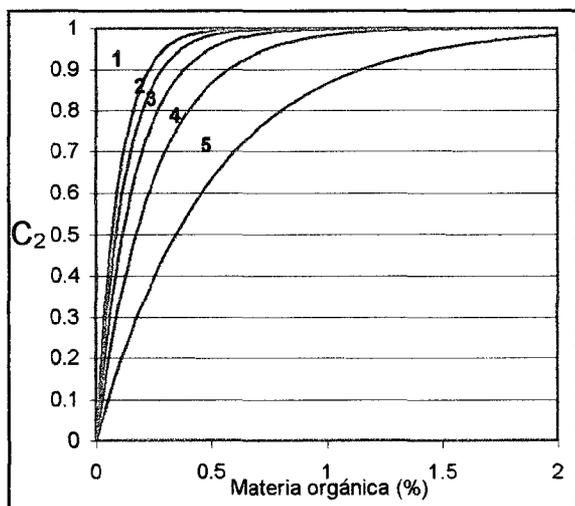
$C_1$  = subfactor que evalúa la reacción (pH)

para  $pH > 7$ ,  $C_1 = -2,68 + 1,22 (pH) - 0,102 (pH)^2$   
 para  $pH < 2$ ,  $C_1 = 0$   
 para  $pH > 10$ ,  $C_1 = 0$

Figura 7. Curvas de suficiencia para evaluar la reacción del suelo (pH) sobre el crecimiento de raíces (Delgado 2003).

#### Subfactor $C_2$

Evalúa el contenido de **materia orgánica** en el suelo, según se muestra en el Figura 8.



$$C_2 = 1 - e^{-ax}$$

$C_2$  = subfactor que evalúa el contenido de materia orgánica.

$x$  = contenido de materia orgánica (%)

$a$  = coeficiente de arcilla

Curva N°	arcilla (%)	$a$
1	> 20	10,0
2	15-20	8,0
3	10-14	6,0
4	5-9	4,0
5	< 5	2,0

Para materia orgánica > 2 ;  $C_2 = 1$

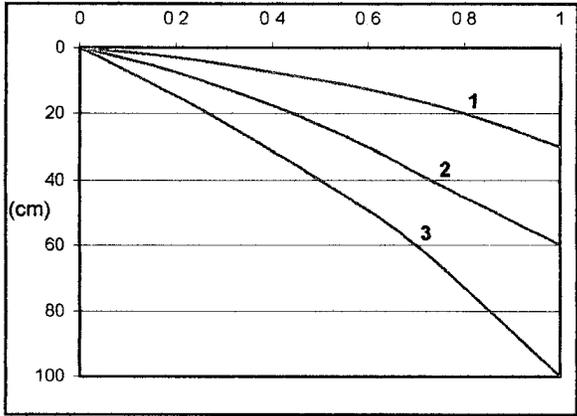
Figura 8. Curvas de suficiencia para evaluar el efecto de la *materia orgánica* en el suelo (Delgado 2003).

El factor C se evalúa en interacción con el clima, de la manera siguiente:

- En clima húmedo ( $P/ETP > 2,00$ ):  $C = C_1$
- En clima seco ( $P/ETP < 0,50$ ):  $C = C_2$
- En clima subhúmedo a seco ( $0,50 \leq P/ETP \leq 2,00$ ) :  $C =$  valor más limitante (el menor valor numérico) entre  $C_1$  y  $C_2$

### Factor K

Evalúa la *profundidad efectiva del suelo*, así como la *importancia relativa del horizonte i* en el perfil (*factor de ponderación del horizonte respectivo*), según lo indicado en el Figura 9.



Curva N°	Profundidad de enraizamiento del cultivo (cm)	$K_{acum}$
1	<30	$0,106 p^{0,66}$
2	30 - 60	$0,045 p^{0,76}$
3	> 60	$0,028 p^{0,78}$

$K_{acum}$  = factor de ponderación **acumulado** hasta el **límite inferior** del horizonte *i*

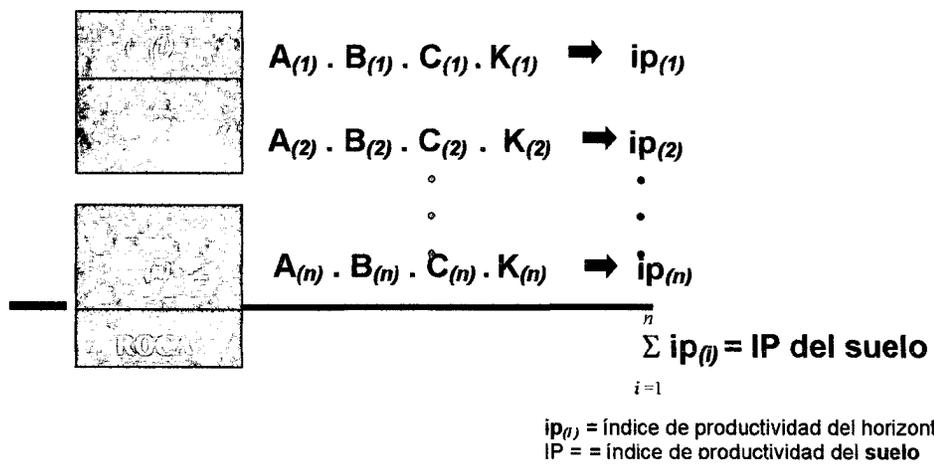
*p* = profundidad hasta el **límite inferior** del horizonte *i*, medida desde la superficie del suelo (cm).

**Figura 9. Procedimiento para calcular el factor de ponderación (K) de los horizontes del suelo (Delgado 2003).**

Para el horizonte *i* considerado el factor  $K_i$  se calcula de acuerdo con la siguiente ecuación.

$$K_i = K_{acum. (i)} - K_{acum. (i-1)} \tag{3}$$

Una vez calculados los factores del índice de productividad para cada uno de los horizontes, el procedimiento para calcular el índice de productividad del suelo se ilustra en la Figura 10.



**Figura 10. Procedimiento general para calcular el índice de productividad (IP) del suelo (Delgado 2003).**

Los valores de los factores **A**, **B**, **C** y **K** del *Índice de productividad* (IP) se pueden calificar en función del grado en que cada uno de ellos contribuye a limitar la productividad del suelo. En el Cuadro 5 se indica la calificación de estos factores en función de su respectivo grado de limitación.

**Cuadro 5. Calificación del grado de limitación, en función del valor de los factores que determinan el índice de productividad del suelo (Delgado 2003).**

Grado de limitación	Valor del factor (A, B, C, K)
Muy severa	$\leq 0,20$
Severa	0,20 – 0,40
Moderada	0,40 – 0,60
Ligera	0,60 – 0,80
Muy ligera	$\geq 80$

De igual manera, los valores relativos de productividad del suelo, estimados a través del *Índice de productividad* (IP), se pueden calificar de acuerdo a lo indicado en el Cuadro 6.

**Cuadro 6. Calificación de la productividad del suelo en función de los valores del Índice de Productividad (IP) (Delgado 2003).**

IP	Productividad del suelo	Intensidad de uso agrícola de la tierra
$\leq 0,15$	Baja	Se requieren prácticas <i>muy intensivas</i> de manejo de suelos para mejorar significativamente la baja productividad. La relación entre el número de años con cultivos de ciclo corto por cada año de barbecho o descanso del suelo no debe ser mayor de 3:1
0,16- 0,35	Moderada	No más de una (1) cosecha al año de cultivos de ciclo corto y con prácticas <i>intensivas</i> de manejo de suelos para mejorar su productividad. La relación entre el número de años con cultivos de ciclo corto por cada año de barbecho o descanso del suelo puede ser de 3:1 a 6:1
0,36-0,50	Alta	Hasta dos (2) cosechas de cultivos de ciclo corto al año, con prácticas <i>moderadas</i> de manejo de suelos. La relación entre el número de años con cultivos de ciclo corto por cada año de barbecho o descanso del suelo puede ser de 6:1 a 10:1
$> 0,51$	Muy alta	Es posible realizar <i>hasta tres</i> (3) cosechas de cultivos de ciclo corto al año con prácticas <i>moderadas</i> de manejo de suelos. La relación entre el número de años con cultivos de ciclo corto por cada año descanso del suelo puede ser igual o mayor de 10:1

## B. RIESGO DE EROSIÓN

Se entiende por riesgo de erosión, o erosión potencial, la máxima pérdida de suelo posible en ausencia de cobertura vegetal y prácticas conservacionistas, es decir, considerando solamente la interacción de los factores físicos de la tierra: suelo, clima y topografía (Páez, 1994).

El modelo propuesto para cuantificar esta cualidad de la tierra se basa en el trabajo de Delgado (2003) que toma en consideración tres factores fundamentales para estimar la susceptibilidad de un suelo a la erosión hídrica: las características hidrológicas del suelo que favorecen su capacidad de escorrentía, la agresividad de las lluvias y la pendiente del terreno. En esta metodología el riesgo de erosión se estima a partir del *Índice de Riesgo de Erosión (IRE)*, el cual se calcula con la siguiente ecuación:

$$IRE = \frac{\eta}{10 (1 - \alpha)} \quad (4)$$

donde:

**IRE** = *Índice de Riesgo de Erosión* (valor entre 0 y 1)

$\alpha$  = Factor que evalúa el potencial de escorrentía del suelo (valor entre 0 y 1).

$\eta$  = Factor que evalúa el impacto de la agresividad de las lluvias en relación con la pendiente del terreno (valor entre 0 y 1).

Para los factores del *Índice de Riesgo de Erosión*, corresponde el valor 1,0 a un suelo que presenta las **condiciones potenciales** más favorables para que se desarrollen, eventualmente, severos procesos erosivos.

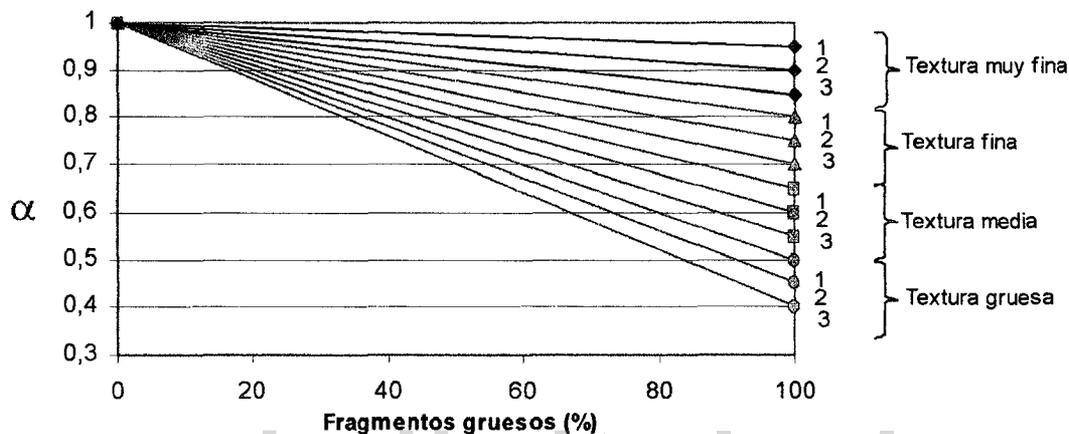
### ***Evaluación de los factores del Índice de Riesgo de Erosión del suelo (IRE)***

#### ***Factor $\alpha$***

Este factor evalúa el *potencial relativo de escorrentía* del suelo, a partir de la *textura* y el *grado de desarrollo de la estructura* del suelo. La textura incluye la

determinación de la fracción fina del suelo (partículas  $\leq 2$  mm) y los fragmentos gruesos totales (partículas  $> 2$  mm). La estructura incluye principalmente la evaluación de su grado de desarrollo (débil, moderada o fuerte).

El valor  $\alpha$  se obtiene a partir de las ecuaciones que se indican en el Figura 11, considerando solamente el horizonte superficial del suelo.



1 estructura débil  
2 estructura moderada  
3 estructura fuerte

Textura predominante	Clases texturales	Estructura	$\alpha$
gruesa	Arenosas, areno-francosas, franco-arenosas.	Débil	0,7 – 0,20 (g)
		Moderada	0,7 – 0,25 (g)
		Fuerte	0,7 – 0,30 (g)
media	Francas, franco-arcillosas, Franco-arcillo-arenosas.	Débil	0,8 – 0,15 (g)
		Moderada	0,8 – 0,20 (g)
		Fuerte	0,8 – 0,25 (g)
fina	Limosas, franco-limosas, Arcillo-arenosas.	Débil	0,9 – 0,10 (g)
		Moderada	0,9 – 0,15 (g)
		Fuerte	0,9 – 0,20 (g)
muy fina	Arcillosas, arcillo-limosas, Franco-arcillo-limosas.	Débil	1,0 – 0,05 (g)
		Moderada	1,0 – 0,10 (g)
		Fuerte	1,0 – 0,15 (g)

donde:

$\alpha$  = valor del factor que evalúa el potencial de escorrentía del suelo

g = fracción decimal *volumétrica* de fragmentos gruesos totales ( $> 2$  mm)

Figura 11. Funciones para calcular el factor  $\alpha$  del índice de riesgo de erosión (Delgado 2003).

### **Factor $\eta$**

Este factor evalúa la interacción entre la agresividad climática y la topografía, y su incidencia sobre el riesgo de erosión. El valor del factor se determina a partir de la evaluación del Índice de Fournier (Fournier, 1960; citado por Delgado 2003) calcula la concentración relativa anual de las lluvias, lo cual permite estimar su grado de erosividad. Se determina mediante la siguiente ecuación:

$$F = p^2 / P \quad (5)$$

donde:

**F** = Índice de Fournier

**p** = precipitación media mensual del mes más lluvioso del año (mm)

**P** = precipitación media anual (mm)

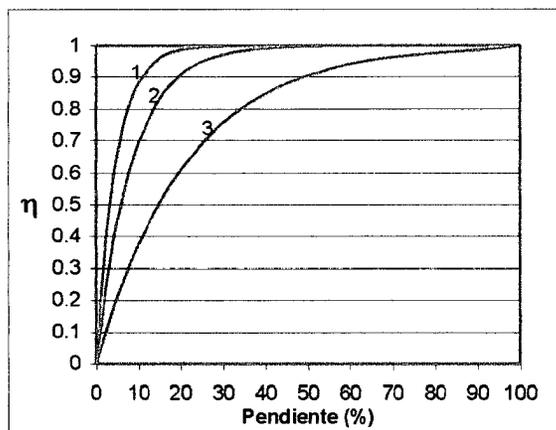
Para garantizar un índice consistente, es necesario que los datos de precipitación procedan de estaciones pluviométricas con al menos diez años de registro.

Valores de referencia para el índice de Fournier se indican en el Cuadro 7.

**Cuadro 7. Valores de referencia del Índice de Fournier (F), para áreas montañosas tropicales (Delgado, 2003).**

<b>F</b>	<b>Calificación</b>
< 15	Muy bajo
15 – 30	Bajo
31 – 50	Moderado
51 – 65	Alto
> 65	Muy alto

El valor  $\eta$  se obtiene a partir de la interacción entre el índice de Fournier y la pendiente media del terreno. El impacto de estas interacciones para evaluar el riesgo de erosión se indican en el Figura 12.



Curva N°	Índice de Fournier
1	> 30
2	15 – 30
3	< 15

Curva N°	Valor de $\eta$
1	$1 - e^{-0,215 P}$
2	$1 - e^{-0,119 P}$
3	$1 - e^{-0,047 P}$

**Figura 12. Funciones para calcular el factor  $\eta$  del índice de riesgo de erosión (Delgado 2003).**

Los valores de los factores  $\alpha$  y  $\eta$  del *índice de riesgo de erosión* (IRE) se pueden calificar en función del grado en que cada uno de ellos contribuye a potenciar el riesgo de erosión del suelo. En el Cuadro 8 se indica la calificación de estos factores en función de su respectivo grado de limitación del uso de la tierra.

**Cuadro 8. Calificación del grado de limitación del uso de la tierra en función del valor de los factores que determinan el índice de riesgo de erosión.**

Valor del factor ( $\alpha, \eta$ )	Grado de limitación
$\leq 0,30$	Ligera
0,31 – 0,60	Moderada
$> 0,61$	Severa

Los valores relativos de riesgos de erosión hídrica de una unidad de tierra, estimados a través del *índice de riesgo de erosión* (IRE), se pueden calificar de acuerdo a lo indicado en el Cuadro 9.

**Cuadro 9. Calificación de los riesgos de erosión, en función de los valores del Índice de Riesgo de Erosión (IRE), señalando los requerimientos generales de conservación de suelos (Delgado 2003).**

IRE	Riesgo de erosión	Requerimientos de conservación de suelos
≤ 0,10	Bajo	Se requerirán <i>prácticas ligeras de conservación de suelos</i> , dirigidas principalmente a mejorar la capacidad de infiltración o la resistencia intrínseca del suelo a la erosión a través de: sistemas de labranza conservacionista y manejo de cantidades moderadas de residuos vegetales en superficie, abonos verdes, incorporación de mejoradores orgánicos y enmiendas, manejo de densidades de siembra y rotaciones de cultivos.
0,11- 0,30	Moderado	Se requerirán <i>prácticas moderadas de conservación de suelos</i> , combinando prácticas de manejo de suelos (labranza conservacionista con cantidades moderadas a altas de residuos en superficie, abonos verdes y mejoradores orgánicos) con manejo de coberturas vegetales (cultivos de cobertura, siembras de alta densidad y cultivos asociados) y/o prácticas moderadas para reducir escurrimientos en laderas (cultivos en contorno, cultivos en fajas, cultivos en callejones y barreras vivas).
0,31-0,60	Alto	<i>Altos requerimientos de conservación de suelos</i> , combinando prácticas intensivas de manejo de suelos con coberturas vegetales moderadamente densas y prácticas para el control de escurrimientos en laderas. Si se realiza labranza, deben adoptarse sistemas altamente conservacionistas (labranza-cero, labranza sobre camellones o labranza-mulch, con altas cantidades de residuos en superficie). Estas prácticas deben complementarse en lo posible con barreras vivas, fajinas altas, acequias de ladera o zanjas de absorción para controlar escurrimientos en laderas. Se deben preferir coberturas permanentes, agroforestería o cultivos bajo sombra.
> 0,61	Muy alto	<i>Muy altos requerimientos de conservación de suelos</i> . Generalmente la labranza no es factible en las condiciones naturales del terreno. Se prefieren cultivos permanentes, los cuales deben sembrarse sobre terrazas individuales trazadas en contorno y usando coberturas densas entre hileras. La utilización de estas tierras no debe hacerse con cultivos de ciclo corto. De hacerlo se necesitarán <i>prácticas muy intensivas de conservación de suelos</i> para modificar sustancialmente la pendiente del terreno, utilizando terrazas de banco con talud o con muros de piedras y manteniendo en ellas un manejo adecuado de los suelos.

Para evaluar los diferentes factores del Índice de Productividad se utilizaron las relaciones establecidas en el modelo IP (Delgado, 2003), utilizando al cultivo de papa (*Solanum tuberosum*) como indicador de productividad. La selección de dicho cultivo se debe a que es el más representativo de la producción agrícola en la región de los Andes venezolanos, así como el de mayor producción en el área de estudio. La mayor superficie del área de estudio esta siendo cultivada con papa.

### **Clasificación agrícola de las tierras montañosas**

Los índices de productividad del suelo (IP) y riesgo de erosión (IRE), permiten finalmente establecer un sistema de clasificación de tierras agrícolas para áreas montañosas tropicales con base en estas dos cualidades fundamentales. Este sistema se muestra en el Cuadro 10. En tal sistema las tierras se clasifican en cuatro (4) categorías principales:

- **Tierras en condición supercrítica (P)**

Tierras que tienen actualmente suelos con una productividad alta a muy alta, pero con fuertes riesgos de erosión. Son tierras que, si están bajo uso agrícola, deben ser incorporadas de inmediato en programas permanentes e intensivos de conservación de suelos. Se ubican en el primer nivel de prioridad para su tratamiento conservacionista.

- **Tierras en condición crítica (C)**

Tierras que tienen actualmente suelos con una productividad moderada a baja, pero en condiciones que determinan fuertes riesgos de erosión. Estas tierras podrían ser incorporadas en *programas especiales de agricultura* con cultivos específicos para suelos de baja productividad, o utilizadas con usos no agrícolas pero con un fuerte componente conservacionista. Estas tierras podrían ser incorporadas eventualmente a usos agrícolas más intensivos cuando se hayan ejecutado prácticas de manejo de suelos dirigidas a mejorar su productividad combinadas con prácticas intensivas de conservación de suelos. Se ubican en el segundo nivel de prioridad para su tratamiento conservacionista.

- **Tierras en condición subcrítica (S)**

Tierras que tienen actualmente suelos con una productividad alta a muy alta, con ligeros riesgos de erosión. Estas tierras son ideales para la producción agrícola continua, intensiva y diversificada, con amplia gama de cultivos pero con programas permanentes de manejo conservacionista que permitan garantizar el

mantenimiento de la capacidad productiva de los suelos. Se ubican en el tercer nivel de prioridad para su tratamiento conservacionista.

- **Tierras en reserva (R)**

Tierras que tienen actualmente suelos con una productividad moderada a baja, con ligeros riesgos de erosión. Estas tierras pueden ser utilizadas con usos agrícolas limitados y reducida gama de cultivos, o usadas con propósitos no agrícolas. Se consideran generalmente como tierras marginales para programas de conservación de suelos. Podrían ser eventualmente incorporadas a usos agrícolas más intensivos al mejorarse sustancialmente la productividad de sus suelos. Se ubican en el cuarto nivel de prioridad para su tratamiento conservacionista.

**Cuadro 10. Sistema para la clasificación de tierras y priorización de la conservación de suelos en áreas montañosas tropicales (Delgado 2003).**

<b>Índice de Productividad del suelo (IP)</b>	<b>Índice de Riesgo de Erosión (IRE)</b>				<b>Uso general de la tierra</b>
	<b>≤ 0,10 (bajo)</b>	<b>0,11-0,30 (moderado)</b>	<b>&gt; 0,31-0,60 (alto)</b>	<b>&gt;0,61 (muy alto)</b>	
<b>≤ 0,15 (bajo)</b>	<b>Tierras en reserva (R)</b> <b>(4ª prioridad de tratamiento conservacionista)</b>		<b>Tierras en condición crítica (C)</b> <b>(2ª prioridad de tratamiento conservacionista)</b>		<b>Vegetación permanente</b>
<b>0,16-0,35 (moderado)</b>					<b>Cultivos especiales</b> <b>Agroforestería</b>
<b>0,36-0,50 (alto)</b>	<b>Tierras en condición sub-crítica (S)</b> <b>(3ª prioridad de tratamiento conservacionista)</b>		<b>Tierras en condición super-crítica (P)</b> <b>(1ª prioridad de tratamiento conservacionista)</b>		<b>Agricultura semi-intensiva</b>
<b>&gt;0,51 (muy alto)</b>					<b>Agricultura Intensiva</b>
	<b>Ligeros</b>	<b>Moderados</b>	<b>Altos</b>	<b>Muy altos</b>	

**Requerimientos de conservación de suelos**

## PROCEDIMIENTO METODOLÓGICO

### ***Etapa 1: Preliminar de oficina***

Esta etapa se subdivide en las siguientes fases:

- ✓ *Fase de selección del área de estudio y recolección de la información:* en la selección del área, se tomaron en cuenta criterios como el uso agrícola, la problemática ambiental, la existencia de áreas contrastantes en cuanto a suelos, formas del relieve e información básica disponible (topografía, suelos, clima, geología, uso de la tierra). A la vez se realizó una búsqueda, recopilación y revisión de información bibliográfica, así como cartográfica básica y temática, además de chequeos de campo al área.
  
- ✓ *Fase selección de la escala de trabajo:* La información cartográfica básica y temática existente en el área se encuentra a escala 1:25.000. En función a esto, la escala de trabajo para toda el área de la microcuenca es la señalada anteriormente, para que fuese compatible con la información disponible. En el cono de deyección de la microcuenca, sector en donde se aplicó la metodología del IP-IRE, se elaboró una ventana a mayor nivel de detalle, en la que se trabajó a una escala de 1:5.000.

### ***Etapa 2: Trabajo de campo y laboratorio***

Esta etapa se subdivide en las siguientes fases:

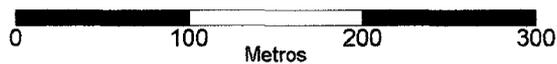
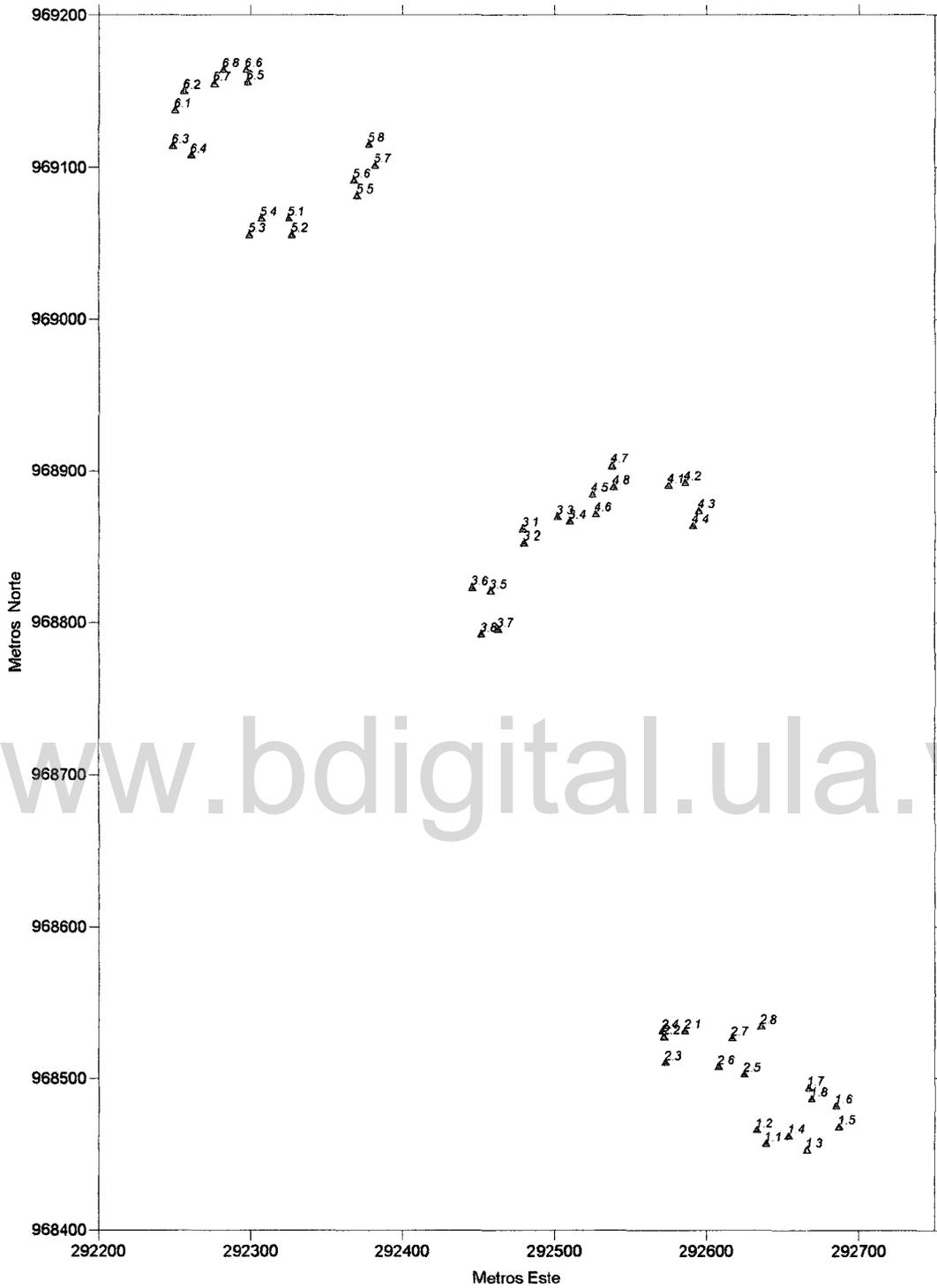
- ✓ *Fase de reconocimiento:* consistió en realizar un recorrido general por el área de estudio, con la finalidad de obtener una visión del uso actual de la tierra, además de localizar y establecer la distribución de las parcelas de cultivo, así como su tamaño.

- ✓ *Fase preparatoria*: consistió en la implementación del muestreo de suelo, el cual se realizó en dos etapas.

Primera etapa del muestreo: se hizo con la finalidad de detectar el patrón o estructura de variación del suelo, para estimar una distancia de muestreo más eficiente (distancia óptima de muestreo). Para ello se siguió un diseño de *muestreo anidado* de cuatro niveles jerárquicos ubicados a distancias de 100 m para el nivel I, 50 m nivel II, 25 m nivel III y 12,5 m nivel IV. Se partió de 6 puntos para el primer nivel de muestreo con dos repeticiones en cada uno de los niveles siguientes para un total de 48 muestras (Figura 13). Se establecieron tres nidos ubicados en la parte alta, media y baja del área de estudio (cono de deyección) esta ubicación se hizo con el fin de cubrir la mayor superficie posible del cono. En la parte alta se ubicaron los dos primeros puntos de muestreo del primer nivel (1.1; 2.1) a una distancia de 100 m y dirección noroeste conformando el primer nido. En la parte media se ubicaron los segundos puntos de muestreo del primer nivel (3.1, 4.1) a una distancia de 100 m de separación entre ellos y dirección noreste, conformando el segundo nido. En la parte baja se ubicaron los terceros puntos de muestreo del primer nivel (5.1; 6.1) a una distancia de 100 m entre ellos y dirección noroeste, conformando el tercer nido. Las direcciones de muestreo se seleccionaron al azar a través de la rosa de los vientos (N, NE, E, SE, S, SW, W y NW). Los puntos de muestreo a las distancias 50 m, 25 m, 12,5 m fueron ubicados de acuerdo al esquema, indicado en el Cuadro 11.

**Cuadro 11. Distribución y dirección de los puntos del muestreo anidado.**

Puntos	Distancias	Dirección aleatoria	Punto arranque
1.1	--	--	--
1.2	12,5	norte	1.1
1.3	25	este	1.1
1.4	12,5	noroeste	1.3
1.5	50	este	1.1
1.6	12,5	norte	1.5
1.7	25	noroeste	1.5
1.8	12,5	sur	1.7



▲ Puntos del Muestreo Anidado

Figura 13. Distribución de los Puntos del Muestreo Anidado

La segunda etapa del muestreo se realizó siguiendo un diseño sistemático alineado, con la distancia óptima resultante en el análisis de varianza del muestreo anidado. Los puntos se ubicaron tratando de interpolar valores en las zonas del cono que no tienen información.

La ubicación de los puntos de ambos muestreos en el área de estudio se puede observar en el mapa 11.

El trabajo de campo consistió en realizar la toma de las muestras una vez establecidos los puntos de muestreo. Se procedió a la apertura de los hoyos hasta la profundidad dada por el horizonte superficial. El horizonte superficial del suelo es más o menos homogéneo en el cono debido a estar utilizando como cultivo indicador a la papa y este tiene una profundidad media de enraizamiento entre 25 a 30 cm. Una vez abierto el hoyo, se retiró el suelo obteniéndose así las muestras.

La toma de muestras se realizó de esta manera debido a que uno de los datos necesarios en la metodología a aplicar, es el valor de la densidad aparente, siendo el método del hoyo uno de los más adecuados en nuestro caso para determinar dicho valor. A la vez se recolectó información morfológica de los suelos mediante una observación detallada (estructura, pedregosidad, etc).

En el laboratorio se procedió a procesar las muestras lo cual consistió en secar, tamizar y realizar los análisis químicos (pH y materia orgánica) y físicos (volumen de fragmentos gruesos, textura, retención de humedad a 33 kPa (límite superior de agua útil) y a 1500 kPa (límite inferior de agua útil)) de acuerdo con los métodos convencionales indicados a continuación:

Análisis Físico:

<b>Tipo de análisis</b>	<b>Método a utilizar</b>
Volumen de fragmentos gruesos	Evaluaciones volumétricas
Densidad aparente	Método del hoyo
Textura	Método de Bouyoucos
Retención de humedad a 33 y 1500 kPa	Método de Richards (ollas y platos de presión)

Análisis Químico:

<b>Tipo de análisis</b>	<b>Método a utilizar</b>
pH del suelo (H <sub>2</sub> O relación 1:1)	Potenciométrico
Materia orgánica	Método de Walkley- Black

***Etapa 3: Trabajo de oficina.***

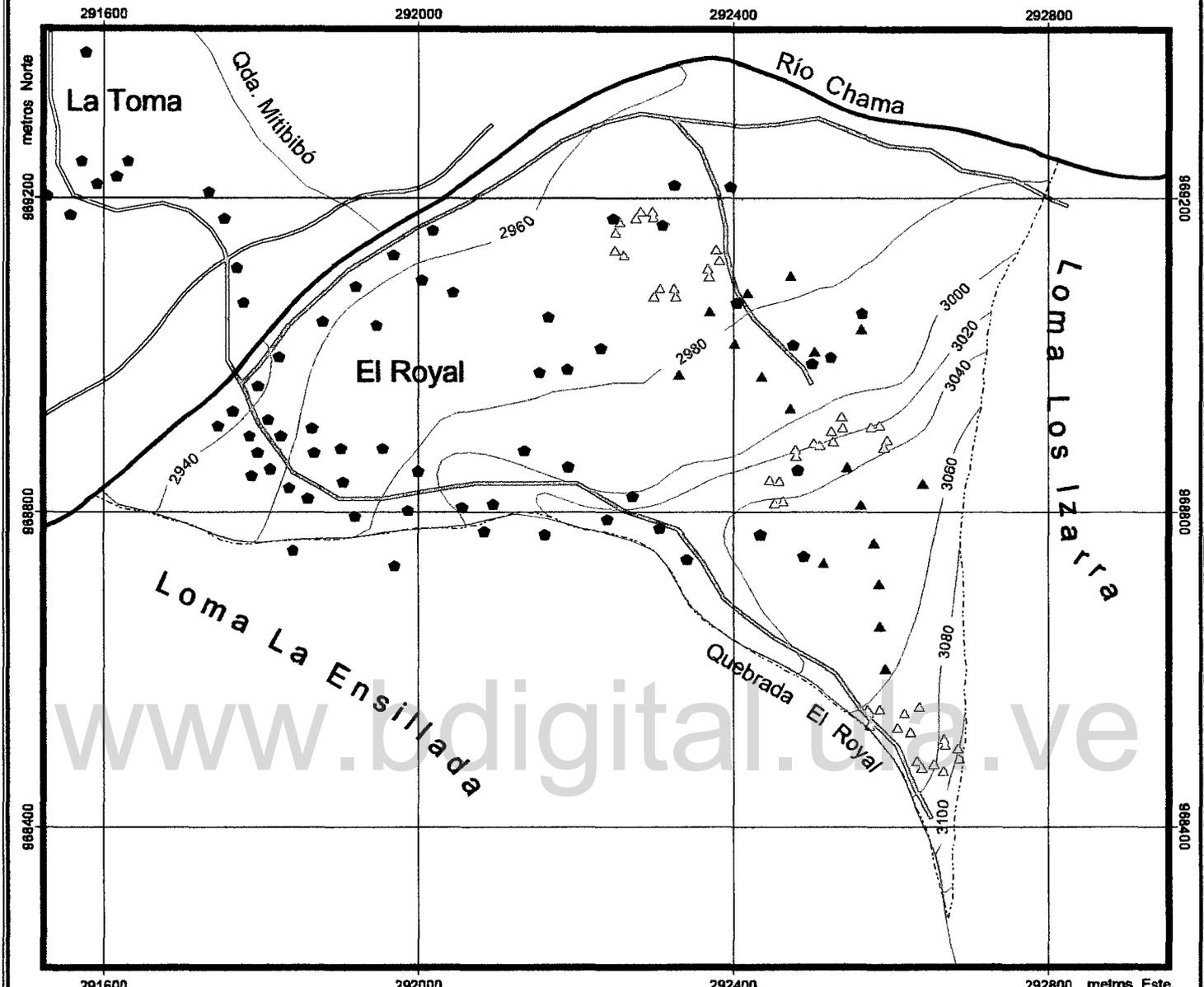
En esta etapa se desarrolla el procesamiento de la información, conformándose de la siguiente manera:

***1.- Análisis estadístico y geoestadístico.***

*Análisis de varianza del muestreo anidado:* el análisis de varianza anidado fue realizado con el módulo Nest del programa PC–GEOSTAT. Se tomaron en consideración los valores obtenidos de los análisis de suelo en el laboratorio. Los atributos o variables considerados fueron: profundidad del horizonte superficial del suelo, contenido de arena y arcilla, densidad aparente, retención de humedad a 33 y 1500 kPa, pH, materia orgánica y volumen de fragmentos gruesos. Se estimaron los porcentajes de varianza acumulada para cada uno de los atributos mencionados y para los niveles de muestreo seleccionados.

Los variogramas resultan de graficar los porcentajes de varianza acumulada contra la distancia de muestreo. De ellos se obtiene la distancia de muestreo óptima.

# PRODUCTIVIDAD DEL SUELO Y RIESGO DE EROSIÓN. CONO EL ROYAL, ESTADO MÉRIDA



www.bdigital.uba.ve

291600
292000
292400
292800 metros Este

100 0 100 200 300 400

UBICACIÓN EN LA MICROCUENCA



Metros

### DISTRIBUCIÓN DE LOS PUNTOS DE MUESTREO

- Límite del Cono
- Vías
- Ríos
- Quebradas
- Curvas de Nivel
- Puntos de Muestreo Anidado
- Puntos de Muestreo Sistemático
- Viviendas

UBICACIÓN RELATIVA ESTADAL



FUENTE: Ministerio de Desarrollo Urbano, Municipio Capital Rangel, La Toma. Hojas B-4,C-4, Esc. 1: 5.000, año 1996.  
Elaborado, Digitalizado y Corregido Cartográficamente por Ing. Forestal Larisa B. Valero Hernández, año 2004.

MAPA Nº 11

*Análisis Estadístico Exploratorio:* consistió en realizar un análisis estadístico univariado con los datos obtenidos a través del muestreo anidado y sistemático, con la finalidad de obtener los valores estadísticos básicos (media, desviación estándar, varianza, valores máximos y mínimos, coeficiente de variación), así como también detectar la presencia de valores atípicos y tendencias, para de alguna manera tener los valores lo más cercano a una distribución normal y así evitar entorpecer los análisis estadísticos posteriores. Para la eliminación de los datos atípicos, se utilizó la metodología desarrollada por Tukey (1977), en la cual se toma como base el primer y el tercer cuartil para establecer las llamadas cercas internas y externas, que son referencia para determinar presencia o ausencia de valores atípicos. Aquellos valores que se encontraron fuera de las cercas externas son considerados atípicos y fueron eliminados. Dicho análisis se efectuó mediante el programa SPSS versión 11.0.

Una vez eliminados los valores atípicos se procedió a probar la hipótesis de ajuste de los valores muestrales a una distribución normal, paso previo para poder proceder con el análisis geoestadístico. Se utilizó el programa "AJUSTE" (Duque, 2002). Dicho programa utiliza el test de Smirnov-Kolmogorov, para un nivel de significancia del 5 %.

*Análisis Geoestadístico:* este análisis se llevo acabo tomando en cuenta los datos depurados de cada una de las variables y se utilizó el programa VARIOWIN versión 2.2, el cual cuenta con tres módulos: El primer modulo, PREVAR, determina los pares de puntos a ser utilizados en el cálculo de los semivariogramas experimentales. El segundo modulo VARIO2D, se obtienen los semivariogramas experimentales. Por último, el modulo MODEL ajusta los semivariogramas experimentales a modelos teóricos, determinando de esta forma los parámetros como: nugget (pepita), sill (meseta) y rango (alcance), necesarios para la aplicación del método de interpolación (Kriging).

Una vez obtenidos los parámetros del semivariograma, se procedió a estimar los valores en los sitios no muestreados utilizando el Kriging puntual y la construcción de modelos idealizados de distribución espacial para cada una de las variables

estudiadas. Para ello se utilizó el programa SURFER versión 8, el cual procede a ejecutar los conceptos básicos y teóricos de krigado, permitiendo interpolar y extrapolar los valores de las propiedades del suelo y obtener mapas de su distribución espacial.

## **2.- Digitalización del mapa topográfico y los mapas temáticos:**

Esta fase se realizó utilizando los programas CartaLinx versión 1.2, AutoCad 2000, Arc View 3,2 e IDRISI 32.

Esto se realizó incorporando la información cartográfica básica y temática existente del área de estudio a escala 1:25.000 al sistema, convirtiéndola de formato analógico a digital, a través de un escáner, obteniéndose los archivos que serán importados al sistema de información geográfica IDRISI.

Luego se procedió a georreferenciar los mapas, teniendo como resultado mapas georreferenciados al Sistema UTM. Con estos mapas se realizó la digitalización en pantalla de la información altimétrica y planimétrica, cada uno de estos elementos como una cobertura independiente. Con estos elementos se construyó el mapa topográfico del área de estudio, añadiendo y actualizando la toponimia respectiva.

## **3.- Elaboración de las coberturas temáticas**

### *\* Cobertura Índice de Productividad del Suelo(IP):*

Para ello fue necesario en primer lugar importar a IDRISI las coberturas de distribución espacial de las variables que son consideradas en el modelo Índice de Productividad (IP), las cuales fueron obtenidas previamente por el método de interpolación Kriging. Para obtener la cobertura de cada factor del índice se aplicó álgebra de mapas utilizando las capas de las variables correspondientes a dicho factor:

a) Para el Factor A se determinó el Subfactor A1 y debido a que el cultivo indicador utilizado fue la papa, el cual es altamente sensible al estrés hídrico, la

ecuación utilizada fue la correspondiente a la curva N° 1 de la Figura 3, junto con la cobertura del contenido gravimétrico de agua útil del suelo.

b) El Factor B se obtuvo a partir del Subfactor B1, utilizando la ecuación 1 correspondiente a la curva N° 2 (texturas medias), de la Figura 5.

c) El Factor C se obtuvo a partir del Subfactor C1, utilizando las ecuaciones de la Figura 7.

d) El Factor K se obtuvo utilizando la ecuación correspondiente a la curva N° 1 para profundidad de enraizamiento del cultivo, igual o menor a 30 cm, dado que el cultivo indicador fue la papa, la cual tiene una profundidad media de enraizamiento entre 25 a 30 cm.

Las coberturas de los respectivos factores fueron superpuestas aplicando álgebra de mapas, obteniéndose de esta forma la cobertura Índice de Productividad (IP).

\* *Cobertura Índice riesgo de erosión (IRE):*

Para obtener esta cobertura previamente se elaboraron utilizando el programa IDRISI las coberturas correspondientes a los factores que conforman este índice:

- ✓ Cobertura factor  $\alpha$ : para obtener este factor fue importada a IDRISI, la capa de distribución espacial de la variable fracción decimal volumétrica de fragmentos gruesos totales ( $> 2$  mm), luego se aplicó álgebra de mapas utilizando la ecuación 2 correspondiente a texturas medias y grado de estructura moderado de la Figura 11, obteniéndose la cobertura de dicho factor.
- ✓ Cobertura factor  $\eta$ : en primer lugar se elaboró el modelo digital de elevaciones (MDE) a partir de las curvas de nivel digitalizadas. Una vez se obtuvo el MDE se procedió a elaborar la cobertura pendiente del terreno expresada en porcentaje. Aplicando álgebra de mapas y utilizando la ecuación de la curva N° 2 de la Figura 12, se obtuvo cobertura de la distribución espacial del factor  $\eta$ .

Ambas coberturas fueron superpuestas obteniéndose de esta forma el mapa del índice riesgo de erosión (IRE).

\* *Cobertura Clases de Tierras Agrícolas.*

Este mapa se obtuvo a partir de la superposición de las coberturas de los índices IP e IRE respectivas, utilizando el comando CROSSTAB de IDRISI.

En la Figura 14 se presenta el modelo espacial, el cual muestra las operaciones de análisis y modelamiento que se realizaron con las coberturas o capas de información para la obtención de los productos finales.

**4.- Clasificación de las tierras de la microcuenca según Sheng (1971).**

Esta fase se realizó utilizando el programa IDRISI. La clasificación fue aplicada en toda la microcuenca. El procedimiento seguido fue:

a) Elaborar el mapa de pendientes para toda la microcuenca, a partir del modelo digital de elevaciones (MDE), luego se agruparon los valores en función de los rangos de pendiente establecidos por la metodología de Sheng (1986), obteniéndose así el mapa de pendiente por rangos.

b) A partir del mapa de asociaciones de suelos de Castillo (1965) se obtuvo el mapa de profundidades del suelo, los valores fueron agrupado en función de los rangos de profundidad establecidos por Sheng (1971).

c) Por último ambas coberturas fueron superpuestas utilizando el comando CROSSTAB de IDRISI, obteniéndose el mapa de clasificación de tierras marginales tropicales.

En la Figura 15 se presenta el modelo espacial, el cual muestra las operaciones de análisis y modelamiento que se realizaron para la obtención del mapa de clasificación de tierras marginales tropicales.

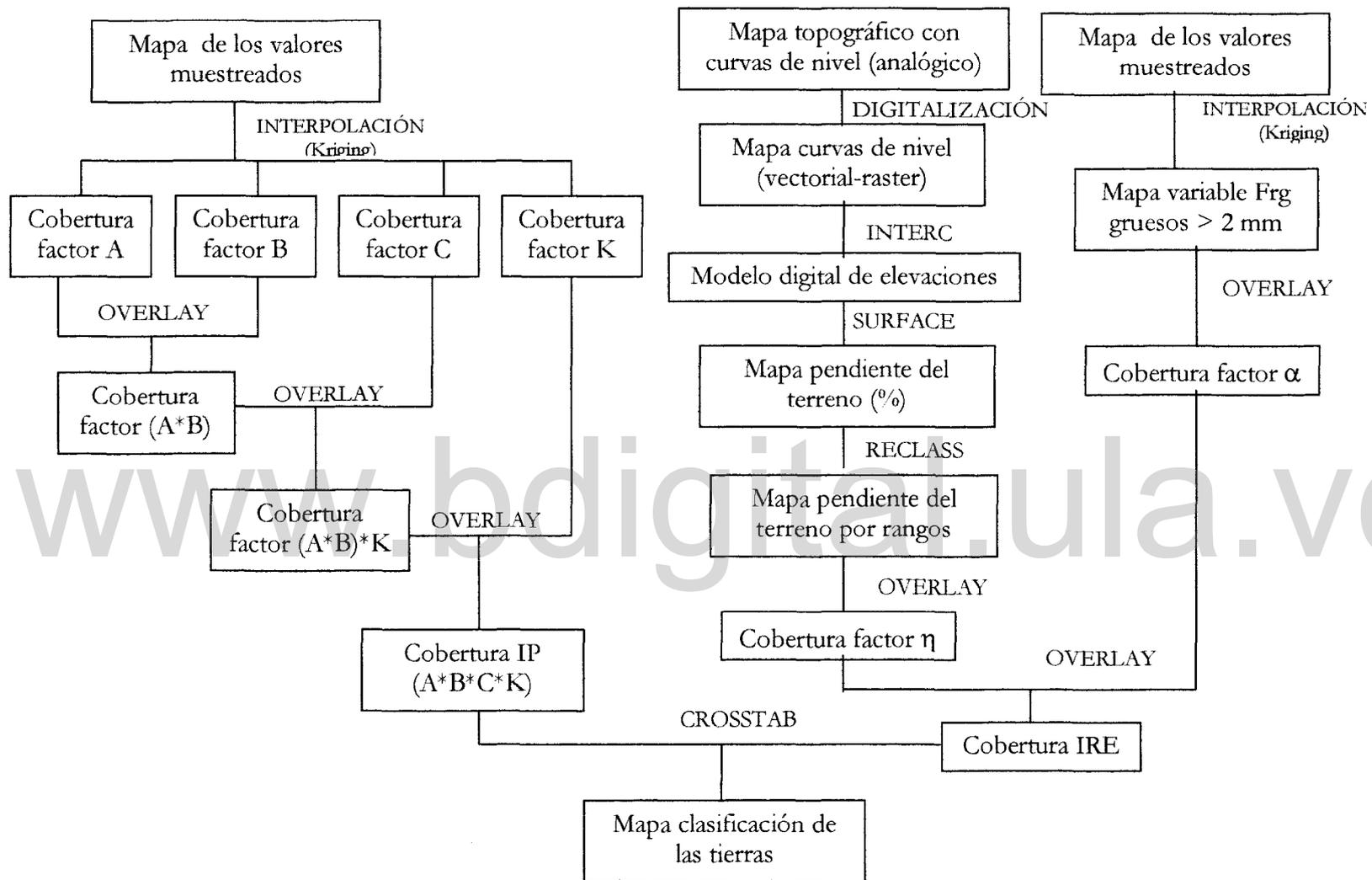


Figura. N° 14. Modelo espacial general para la clasificación de tierras. Metodología IP-IRE (Delgado, 2003)

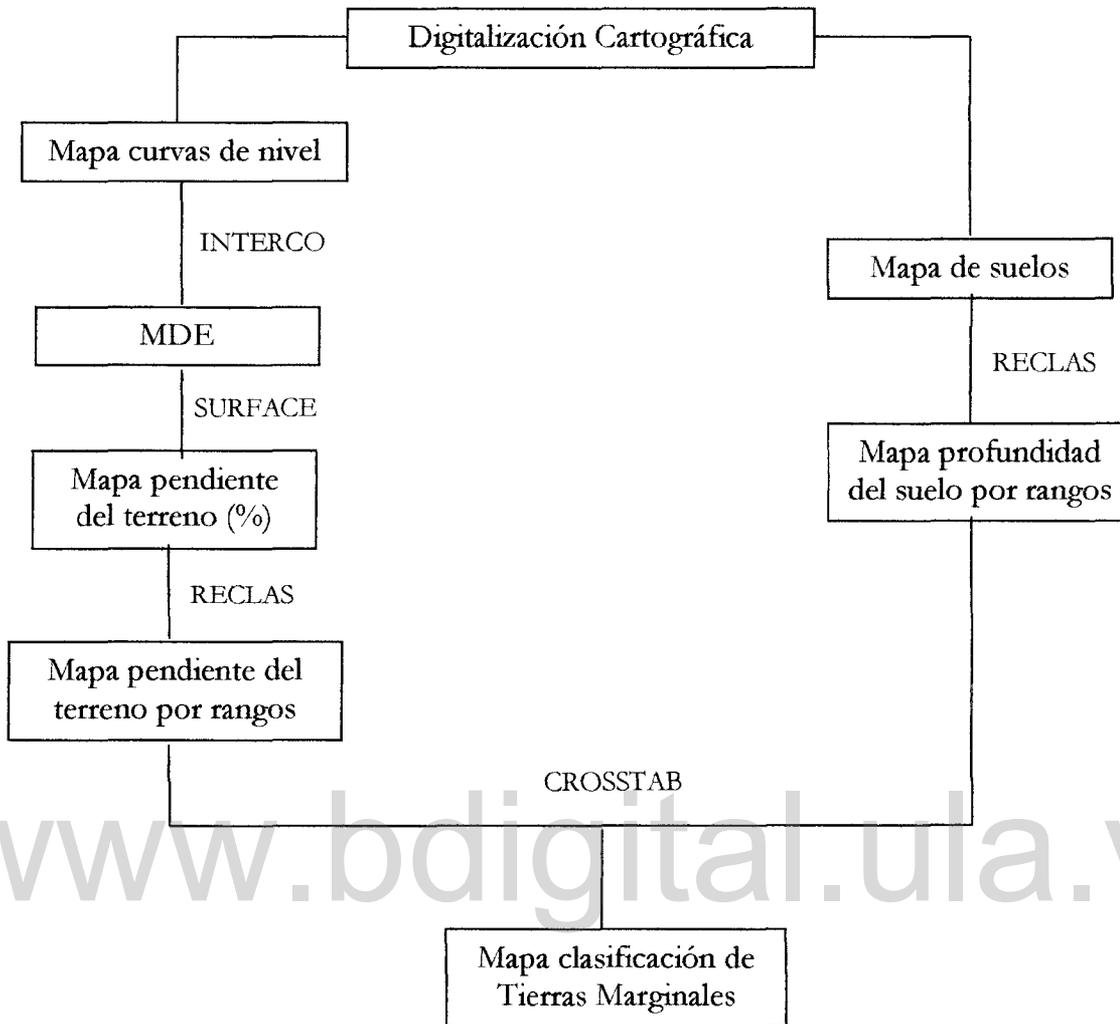


Figura. N° 15. Modelo espacial general de la Clasificación de Tierras Marginales Tropicales (Sheng, 1971)

##### **5.- Comparación entre resultados de ambas clasificaciones de tierra.**

Una vez que fueron obtenidas las unidades de tierra por ambas metodologías (Delgado, 2003 y Sheng, 1971), se procedió a establecer una comparación entre los resultados con el objetivo de determinar: facilidad de obtención de la información, nivel de la información que genera, aplicación de los resultados en función de las necesidades locales del usuario o planificador.

## **6.- Identificación de las prácticas alternativas.**

Con la clasificación de las tierras del área de estudio, se establecieron los requerimientos de conservación del suelo, los cuales fueron la base para la identificación de las prácticas alternativas de conservación de suelos. Estando las prácticas de manejo y conservación clasificadas en tres categorías principalmente:

- Categoría I: prácticas dirigidas a reducir la erosionabilidad del suelo o los impactos de la erosividad de la lluvia.
- Categoría II: prácticas dirigidas a reducir los impactos de la escorrentía en laderas.
- Categoría III: prácticas complementarias.

La selección de las prácticas se hizo en función de dos aspectos; en primer lugar cual es la cualidad de la tierra que más limita el uso agrícola, si es la productividad del suelo o el riesgo de erosión, o ambos, y en segundo lugar cual factor de la cualidad respectiva es el más limitante.

## **7.- Validación final**

Consistió en establecer comparaciones en cuanto a los resultados obtenidos con ambos métodos de clasificación de tierras, con relación al uso actual de la tierra y las prácticas agrícolas que aplica el productor en la zona, para establecer y analizar las causas de posibles coincidencias o diferencias con la de la situación local.

## CAPÍTULO V

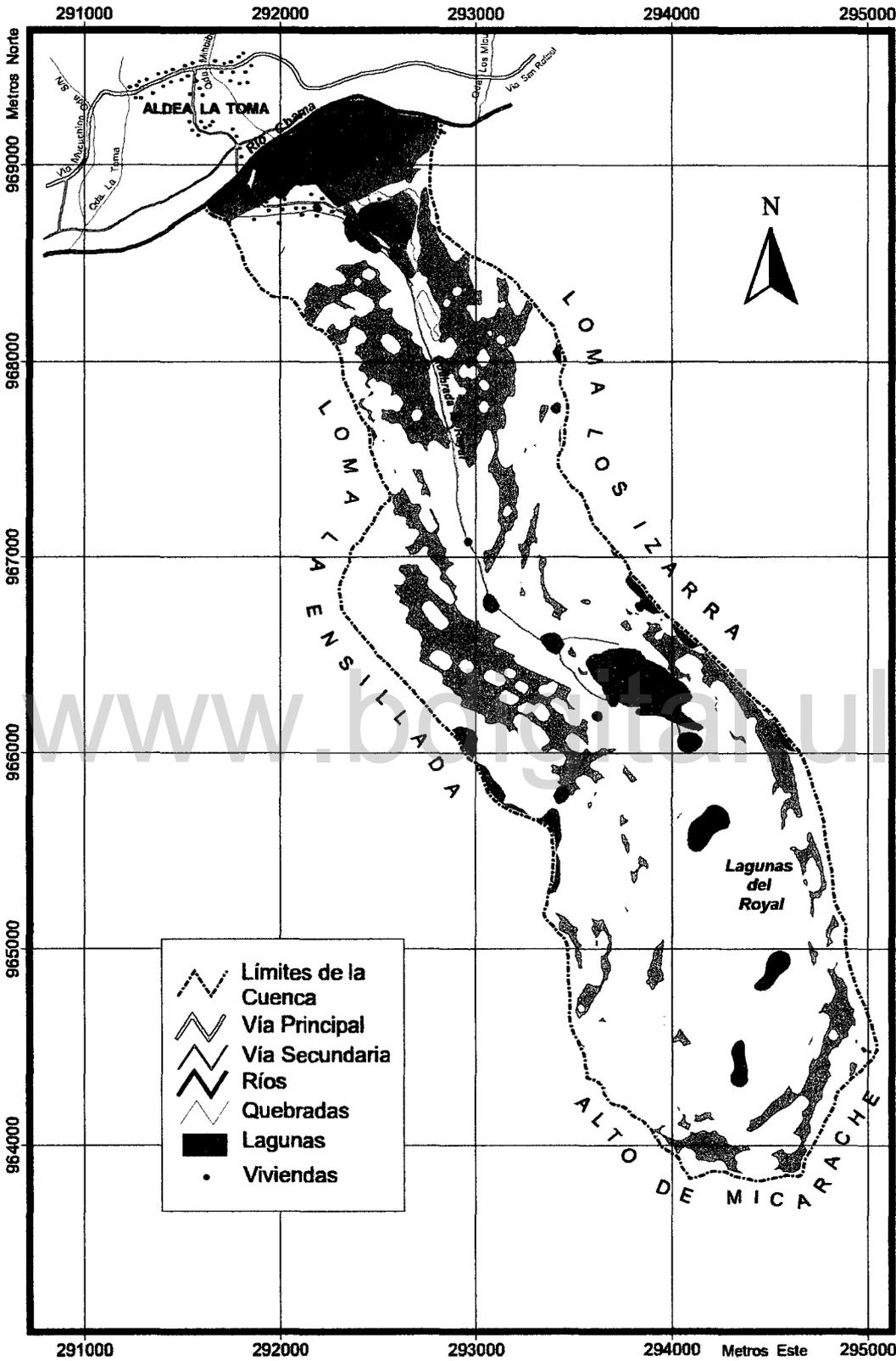
### RESULTADOS Y DISCUSIÓN

#### ***Clasificación de las tierras de la microcuenca según la metodología de Sheng (1971).***

Para toda el área de la microcuenca las clases de tierras resultantes fueron tierras cultivables C<sub>1</sub>, C<sub>2</sub> y C<sub>3</sub>, pastizales (P) y forestales (F). La mayor parte de las tierras cultivables se encuentran ubicadas en la zona baja de la microcuenca (cono) en el resto de la superficie se ubican las tierras clasificadas como pastizales y forestales (Mapa 12) distribuyéndose de la siguiente manera:

- a) Tierras cultivables C<sub>1</sub>, ocupan el 6,90 % de la superficie de la microcuenca, son tierras que requieren de ligeras a escasas medidas de conservación y es posible la mecanización de la agricultura. Estas tierras permiten una actividad agrícola intensiva.
- b) Tierras cultivables C<sub>2</sub>, ocupan el 1,89 % de la superficie de la microcuenca, son tierras que requieren moderadas medidas de conservación. Esta categoría permite cultivos anuales, permanentes o semipermanentes y la mecanización de la agricultura es posible.
- c) Tierras cultivables C<sub>3</sub>, abarcan el 0,38 % de la superficie total, corresponde a tierras donde no es posible la mecanización de la agricultura, ya que su fuerte pendiente limita el trabajo, requieren intensas medidas de conservación. Estas tierras permiten cultivos de ciclo corto de forma intensiva.
- d) Pastizales (P), ocupan el 63,42 % de la superficie de la microcuenca, estas tierras corresponden a pastizales manejados y mejorados.
- e) Tierras forestales, abarcan el 27,41 % de la superficie total, estas tierras tienen aptitudes para el establecimiento de cultivos permanentes pero con prácticas muy intensivas de conservación.

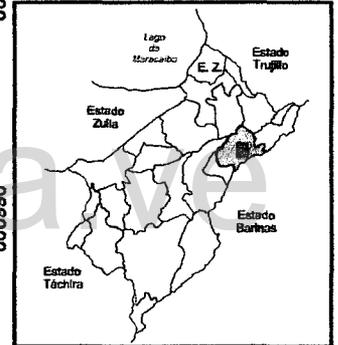
# PRODUCTIVIDAD DEL SUELO Y RIESGO DE EROSIÓN. MICROCUENCA EL ROYAL, ESTADO MÉRIDA.



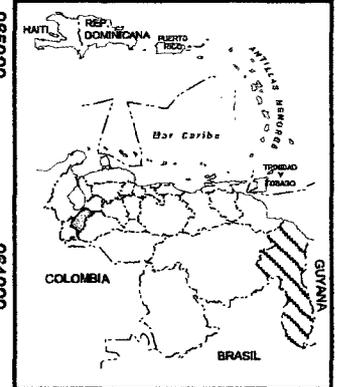
## Clasificación Tierras Marginales (Sheng)

- Cultivables (C1)
- Cultivables (C2)
- Cultivables (C3)
- Pastizales
- Forestales

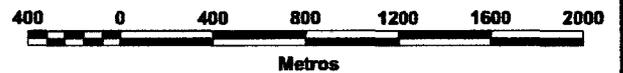
### UBICACIÓN RELATIVA REGIONAL



### UBICACIÓN RELATIVA NACIONAL



**MAPA N° 12**



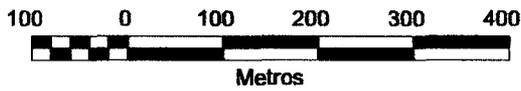
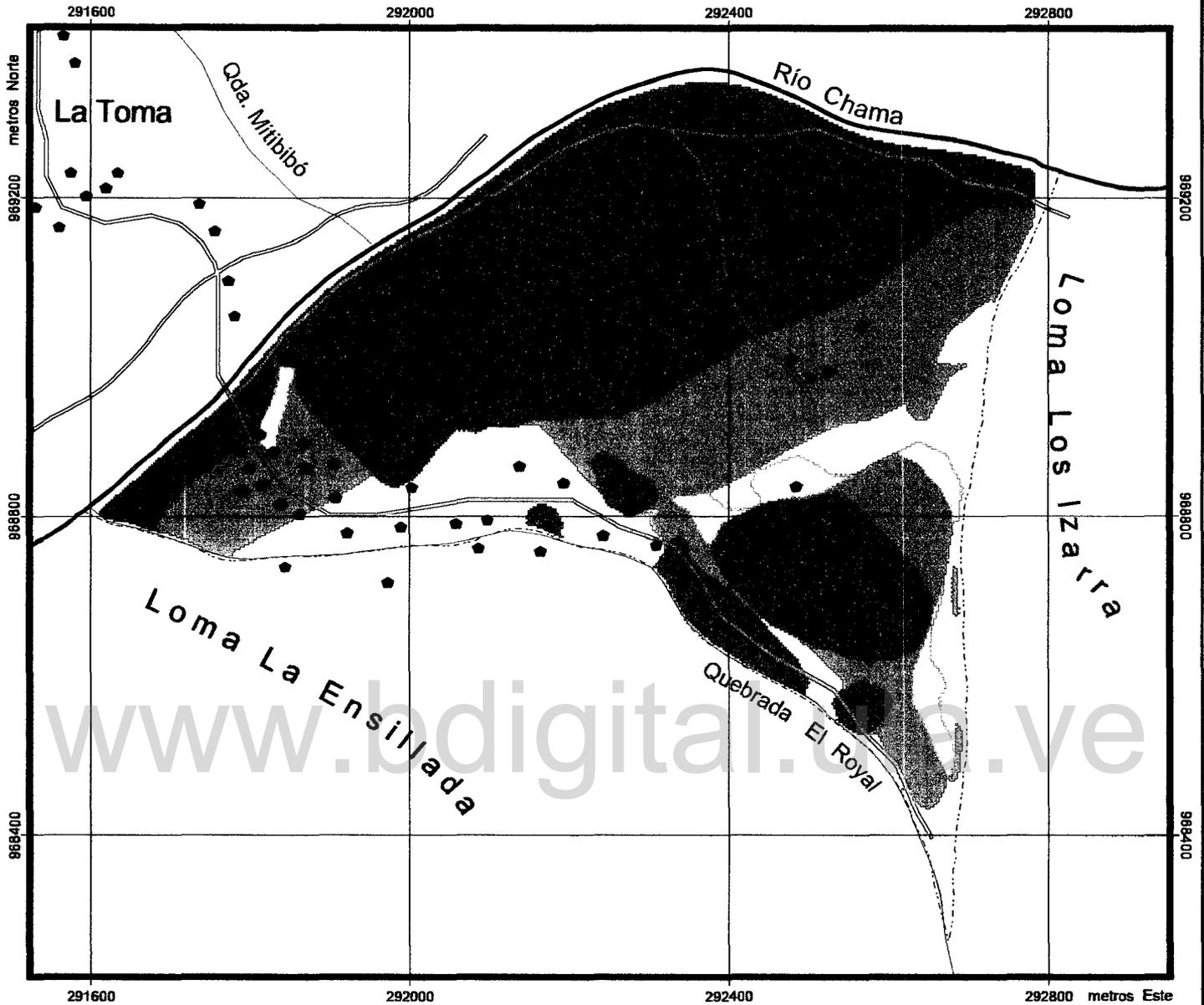
FUENTE: Elaboración Propia. Año 2004.  
Elaborado, Digitalizado y Corregido Cartográficamente: Ing. Forestal Larisa Beatriz Valero Hernández, Año 2004.

En el área del cono específicamente, se tienen distribuidas las clases de tierras de la siguiente manera (Mapa 13):

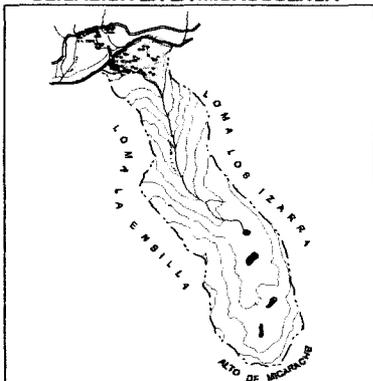
- a) Tierras cultivables C<sub>1</sub>, ocupan el 60,37 % de la superficie del cono. Se localizan principalmente en la parte baja del cono.
- b) Tierras cultivables C<sub>2</sub>, abarcan el 23,16 % de la superficie del cono y se distribuye en los tres niveles de alturas del cono (baja, media y alta).
- c) Tierras cultivables C<sub>3</sub> abarcan 2,84 % de la superficie del cono. Se localizan en pequeños sectores en la parte alta del cono aunque aparece un pequeño sector en la parte baja del mismo.
- d) Pastizales (P), se distribuyen en 13,09 % de la superficie del cono. Estas tierras se distribuyen en la parte media y alta del cono, son utilizadas actualmente para el cultivo manual de hortalizas cuyas raíces sean poco profundas y en algunos sectores son dejados en abandono para ser empleados para del pastoreo del ganado que es usado como tracción de yunta del arado.
- e) Tierras forestales (F), ocupan 0,54 % de la superficie del cono. Dada la poca superficie que ocupan son usadas como pastizales cuyo manejo es el mismo de la categoría de Pastizales.

De acuerdo a estos resultados se tiene que la mayor parte de las tierras son aptas para cultivos de ciclo corto, permanentes y semipermanentes, con ligeros a medianos requerimientos de prácticas conservacionistas, no obstante se presentan algunos sectores que si requieren de prácticas intensivas de conservación.

# PRODUCTIVIDAD DEL SUELO Y RIESGO DE EROSIÓN. CONO EL ROYAL, ESTADO MÉRIDA



UBICACIÓN EN LA MICROCUENCA



## CLASIFICACIÓN DE TIERRAS MARGINALES TROPICALES (Sheng)

- |   |                          |   |                 |
|---|--------------------------|---|-----------------|
|  | Tierras Cultivables (C1) |  | Límite del Cono |
|  | Tierras Cultivables (C2) |  | Vías            |
|  | Tierras Cultivables (C3) |  | Ríos            |
|  | Pastizales (P)           |  | Quebradas       |
|  | Forestales (F)           |  | Viviendas       |

UBICACIÓN RELATIVA ESTADAL



FUENTE: Sheng, Ted C. Metodología de Clasificación de Tierras Marginales Tropicales. Seminario Latinoamericano de Conservación de Cuencas, La Plata - Argentina, año 1971.  
Elaborado, Digitalizado y Corregido Cartográficamente por Ing. Forestal Larisa B. Valero Hernández, año 2004.

MAPA Nº 13

## ANÁLISIS DE LAS PROPIEDADES FÍSICAS Y QUÍMICAS DE LOS SUELOS

### ***Propiedades físicas de los suelos.***

*Textura:* esta propiedad es el indicador de la proporción relativa de arena (a), arcilla (A) y limo (L) que constituye la clase textural del suelo. De acuerdo a los valores expresados en el Cuadro 12, se observa que la proporción de arena varía entre 360 y 620 g/kg con un promedio de 480 g/kg, la de arcilla varía entre 80 y 280 g/kg con un promedio de 170 g/kg y la de limo oscila entre 240 y 440 g/kg con un promedio de 340 g/kg. Al analizar estas proporciones se obtiene que los suelos en el área son Francos (74%) y Franco-arenosos (21%), predominando de esta forma las texturas medias. La granulometría de estos suelos refleja una dinámica sedimentaria producto de las acumulaciones glaciales y aluviales, así como de la composición mineralógica de la litología existente, correspondiente al Complejo Iglesias de la Asociación Sierra Nevada, la cual está constituida por gneis, esquistos y granitos.

*Retención de humedad:* se observa de acuerdo a los valores del Cuadro 12 que la retención de humedad a 33 kPa (Límite superior), oscila entre 162 y 498 g/kg con un promedio de 258 g/kg y la retención de humedad a 1500 kPa (límite inferior), varía entre 73 y 379 g/kg con un promedio de 139 g/kg. Estos valores de retención de humedad indican que el porcentaje de agua aprovechable (humedad retenida entre las tensiones 33 y 1500 kPa) oscila de 42 g/kg a 223 g/kg lo que corresponde a valores que van de bajos a altos. La alta retención de humedad puede ser explicada por los altos contenidos de materia orgánica y por la existencia de texturas medias.

*Densidad aparente:* esta propiedad se refiere al peso seco del suelo y el volumen total ocupado por dicho peso, incluyendo el espacio poroso total.

De acuerdo a la información presentada en el Cuadro 12, se observan valores que oscilan entre 0,81 Mg/cm<sup>3</sup> y 1,70 Mg/cm<sup>3</sup> indicando valores que van desde bajos a altos, si se toma en cuenta que las texturas presentes son medias a gruesas. Los

valores bajos están asociados a elevados contenidos de materia orgánica. Los valores altos corresponden a sectores con texturas gruesas.

*Fragmentos gruesos totales:* se refiere al porcentaje de partículas mayores de 2 mm en base al volumen. De acuerdo a los datos del Cuadro 12, se observa que los valores se encuentran entre 0,0 y 87,1 % con un promedio de 17 %. Estos valores son explicables debido al comportamiento de acumulación del cono, ya que como es sabido, las partículas más pesadas se depositan más cerca del cauce que las transporta.

### ***Propiedades químicas de los suelos.***

*Reacción del suelo:* esta propiedad se refiere al grado de acidez o alcalinidad que el suelo presenta, obteniéndose al medir el pH del mismo. Los suelos del área de estudio presentan valores de pH en agua, que oscilan entre 4,22 y 7,31 con un promedio de 6,12. Este rango de variación permite caracterizar los suelos desde extremadamente ácidos a neutros. Los valores bajos de pH son producto de la descomposición y acumulación de la materia orgánica y de la alteración de la litología existente en la cuenca de drenaje. Los valores más altos se dan en aquellos lugares donde los agricultores utilizan prácticas agronómicas como el encalado para controlar la acidez.

*Materia orgánica:* es considerada como una mezcla heterogénea de las diferentes fases de transformación de los materiales orgánicos incorporados al suelo, que varía según el tipo de suelo y la profundidad. Los valores de materia orgánica oscilan entre 43 g/kg y 173 g/kg con un promedio de 71 g/kg. Este rango de variación permite establecer que el contenido de materia orgánica en el área de estudio varía entre alta a muy alta. Estos altos contenidos posiblemente se deben a la alta capacidad de retención de humedad de los suelos y a las bajas temperaturas de la zona, lo que hace que la descomposición de la materia orgánica sea muy lenta, provocando la acumulación de la misma. Esto se corrobora con los colores oscuros que presentan estos suelos, tal como se

observa en el Cuadro 12. Aunado a estos dos factores se tiene que mencionar la reiterada aplicación de abonos orgánicos por parte de los productores en el proceso de preparación el suelo previo a la siembra.

**Cuadro 12. Propiedades físicas y químicas de los suelos, sector El Royal.**

Pto	Textura				R. Humedad g/kg		D.A. Mg/cm <sup>3</sup>	Vol % Frag > 2 mm	Horizonte Supf (m)	pH	M.O g/kg	Color	
	a	A	L	Clase textural	33	1500						seco	húmedo
	g/kg				kPa	kPa							
1,1	560	140	300	Fa	233,4	120,2	1,35	27,8	0,10	6,27	56,6	10YR3/1	10YR2/1
1,2	460	140	400	F	354,7	178	1,69	87,1	0,10	6,38	93,5	10YR3/3	10YR2/2
1,3	400	180	420	F	419,1	231,1	1,28	3,8	0,15	5,49	122,7	10YR3/1	10YR2/1
1,4	460	180	360	F	362,4	199,8	1,60	17,4	0,15	5,56	115	10YR3/1	10YR2/1
1,5	520	140	340	Fa-F	257,1	112,7	1,66	11,4	0,08	5,16	64,4	10YR3/3	10YR2/2
1,6	500	160	340	F	311,2	158,1	1,71	18,1	0,10	5,24	87,5	10YR3/2	10YR2/1
1,7	400	220	380	F	405,2	206,9	1,53	13,2	0,15	5,33	62,6	10YR3/2	10YR2/1
1,8	360	280	360	FA	437,4	214,6	1,52	3,6	0,15	5,49	132	10YR3/1	10YR2/1
2,1	500	220	280	FAa-F	303,9	159,8	1,28	15,0	0,08	5,88	92,7	10YR3/2	10YR2/1
2,2	460	200	340	F	318,6	150,1	1,52	22,1	0,10	6,26	76,4	10YR4/2	10YR2/2
2,3	520	160	320	Fa-F	289,9	115,4	1,63	12,3	0,12	6,04	66,1	10YR3/2	10YR2/1
2,4	520	160	320	Fa-F	325,6	135,6	1,56	55,9	0,08	5,98	94,4	10YR3/2	10YR2/1
2,5	460	180	360	F	498,1	378,8	0,87	0,0	0,15	6,26	173,1	10YR3/1	10YR2/1
2,6	440	220	340	F	377,8	256,9	1,17	2,8	0,15	6,10	119,1	10YR3/2	10YR2/1
2,7	540	180	280	Fa	370,1	279,7	1,14	5,2	0,20	5,34	146,5	10YR2/1	10YR2/0
2,8	580	140	280	Fa	315,7	127,4	1,58	16,1	0,10	5,09	75,5	10YR3/2	10YR2/1
3,1	460	180	360	F	262,9	117,9	1,33	16,5	0,15	6,49	65,2	10YR4/2	10YR2/2
3,2	480	140	380	F	238,5	88,2	1,45	15,8	0,18	5,74	46,4	10YR4/2	10YR2/2
3,3	560	160	280	Fa	260,6	106	1,46	18,8	0,08	6,84	172,3	10YR4/2	10YR2/2
3,4	540	120	340	Fa	252,6	105,3	1,55	13,9	0,20	7,09	59,2	10YR4/2	10YR2/2
3,5	480	160	360	F	237	101,1	1,32	33,3	0,15	6,35	54,1	10YR4/2	10YR2/2
3,6	480	180	340	F	241,3	93,8	1,56	19,0	0,18	6,80	50,4	10YR4/2	10YR2/2
3,7	540	160	300	Fa	262,4	100,2	1,10	10,8	0,20	6,83	55	10YR4/2	10YR2/2
3,8	520	160	320	Fa-F	234,7	108,5	1,51	20,3	0,08	6,42	54,1	10YR4/2	10YR2/2
4,1	580	140	280	Fa	263,5	130,5	1,59	33,6	0,08	5,07	77,5	10YR3/3	10YR2/2
4,2	620	140	240	Fa	233,6	96,3	1,67	27,3	0,05	4,84	68	10YR3/3	10YR2/2
4,3	600	80	320	Fa	396,9	317,3	1,55	3,2	0,08	6,58	153,9	10YR3/2	10YR2/1
4,4	500	140	360	F	334,7	207,3	1,56	9,3	0,12	6,18	109,8	10YR3/2	10YR2/1
4,5	540	180	280	Fa	201,5	100,6	1,48	9,5	0,15	5,00	40,8	10YR3/3	10YR2/2
4,6	440	200	360	F	226,3	119,1	1,65	23,3	0,18	5,43	53,2	10YR3/2	10YR2/1
4,7	500	180	320	F	216,2	94,5	1,49	11,4	0,20	4,59	43,8	10YR3/3	10YR2/2
4,8	460	180	360	F	233,2	104,9	1,56	25,6	0,20	5,40	56,6	10YR3/2	10YR2/1

**Cuadro 12. Continuación.**

Pto	Textura				R. Humedad g/kg		D.A. Mg/m <sup>3</sup>	Vol % Frag > 2 mm	Horizonte supf (m)	pH	M.O g/kg	Color		
	a g/kg	A g/kg	L g/kg	Clase textural	33 kPa	1500 kPa						seco	húmedo	
Muestreo anidado	5,1	480	180	340	F	227,2	116,2	1,34	16,9	0,15	6,80	50,6	10YR3/2	10YR2/1
	5,2	460	180	360	F	231,9	106,1	1,60	26,7	0,15	6,72	56,6	10YR3/2	10YR2/1
	5,3	420	180	400	F	244,1	83,5	1,39	15,2	0,15	6,97	56,6	10YR3/2	10YR2/1
	5,4	420	180	400	F	238,6	219,5	1,17	14,4	0,15	6,83	60,1	10YR3/2	10YR2/1
	5,5	440	180	380	F	313,3	270,7	1,75	14,5	0,05	5,90	112	10YR3/2	10YR2/1
	5,6	440	200	360	F	223,3	136,7	1,76	27,1	0,15	6,94	55,8	10YR3/2	10YR2/1
	5,7	540	100	360	Fa	337,4	270,2	1,56	19,3	0,05	5,71	135,9	10YR3/2	10YR2/1
	5,8	460	220	320	F	216,9	110,3	1,69	11,7	0,20	6,84	53,2	10YR3/2	10YR2/1
	6,1	520	160	320	Fa-F	235,5	121,3	1,38	29,6	0,20	7,17	59,2	10YR4/2	10YR2/2
	6,2	480	140	380	F	207,1	100,7	1,48	5,4	0,15	7,17	47,2	10YR4/2	10YR2/2
	6,3	460	160	380	F	229,4	125,3	1,56	20,4	0,15	7,31	46,4	10YR3/2	10YR2/1
	6,4	460	180	360	F	240,2	133,6	1,49	30,5	0,15	7,18	51,5	10YR3/2	10YR2/1
	6,5	560	160	280	Fa	230,5	137,4	1,33	20,0	0,20	6,22	52,3	10YR3/2	10YR2/1
	6,6	520	160	320	Fa-F	212,6	116,8	1,58	14,2	0,15	6,53	42,9	10YR3/2	10YR2/1
	6,7	500	160	340	F	213,0	78,6	1,66	11,9	0,20	6,38	44,7	10YR3/2	10YR2/1
	6,8	540	140	320	Fa	208,1	120,9	1,25	19,5	0,15	6,48	40,4	10YR3/2	10YR2/1
Muestreo sistemático	1	500	160	340	F	229,6	112,1	1,13	17,7	0,15	7,20	53,05	10YR4/2	10YR2/2
	2	420	196	384	F	283,1	150,7	1,12	16,7	0,18	6,79	74,25	10YR4/2	10YR2/2
	3	480	176	344	FL	229,1	141,5	0,81	11,8	0,10	7,09	47,25	10YR4/2	10YR2/2
	4	350	176	444	F	259,3	137,7	1,13	9,1	0,18	6,35	60,55	10YR4/2	10YR2/2
	5	400	236	364	F	227,8	130,1	1,09	5,7	0,15	5,52	49,05	10YR3/2	10YR2/1
	6	460	216	324	F	236,9	142,6	1,15	17,9	0,15	7,09	52,1	10YR3/2	10YR2/1
	7	460	176	364	F	238,5	136,4	1,14	25,0	0,10	6,44	55,25	10YR4/2	10YR2/2
	8	460	156	384	F	169,4	89,2	1,20	11,7	0,10	6,39	44,6	10YR4/2	10YR2/2
	9	420	176	424	F	176,5	96,6	1,17	12,1	0,15	6,45	49,5	10YR4/2	10YR2/2
	10	420	176	404	F	184,3	114,9	1,08	17,1	0,18	5,73	62,75	10YR3/2	10YR2/1
	11	440	196	364	F	167,1	92,1	1,19	2,9	0,15	6,17	50,75	10YR3/2	10YR2/1
	12	480	156	364	F	162,6	83,6	1,38	17,0	0,15	6,51	66,2	10YR3/2	10YR2/1
	13	500	156	344	F	180,7	73,3	0,98	13,4	0,20	5,56	48,45	10YR4/2	10YR2/2
	14	520	216	264	FAa	214,5	74,3	1,05	15,8	0,10	4,22	67,25	10YR4/2	10YR2/2
	15	620	116	264	Fa	168,0	79,9	1,13	39,8	0,10	4,39	62,9	10YR4/2	10YR2/2
	16	440	236	324	F	179,5	96,0	1,06	5,3	0,18	6,14	56,2	10YR3/2	10YR2/1
	17	500	176	324	F	192,7	121,3	1,04	12,6	0,10	5,92	74,5	10YR4/2	10YR2/2
	18	400	216	484	F	179,9	123,1	1,49	16,0	0,10	6,04	66,8	10YR3/2	10YR2/1
	19	480	196	324	F	176,3	98,5	1,51	6,6	0,10	5,29	61,45	10YR3/2	10YR2/1
	20	480	196	324	F	184,3	103,9	1,13	13,6	0,15	6,28	61,95	10YR3/2	10YR2/1

## **ANÁLISIS ESTADÍSTICO**

### ***Análisis de varianza del muestreo anidado.***

A partir de los datos obtenidos a través del muestreo anidado se elaboraron los variogramas para las diferentes variables. Los variogramas son el resultado de la representación gráfica de las varianzas acumuladas contra las distancias (Figuras 16a y 16b).

Los resultados del análisis de varianza del muestreo anidado se presentan en el Cuadro 13.

Se puede observar que las variables arena, pH y retención de humedad límite superior, presentan un porcentaje moderado de variación (menor de 40 %) a la mínima distancia de muestreo (12,5 m). Las demás variables presentan un porcentaje alto de variación a la mínima distancia de muestreo.

Los variogramas resultantes para cada variable (Figuras 16a y 16b) muestran lo siguiente:

*Arena:* presenta un bajo porcentaje de variación (30,8%) a la mínima distancia, incrementándose hasta alcanzar su máximo (100 % de varianza) a los 100 m.

*Arcilla:* presenta un alto porcentaje de variación (55,52 %) a la mínima distancia, aumentando hasta alcanzar su máximo (100 % de varianza) a los 50 m, luego se mantiene constante.

*Densidad aparente:* presenta un alto porcentaje de variación (67,84 %) a la mínima distancia, manteniéndose constante hasta los 25 m, luego aumenta alcanzando su máximo a los 50 m y se mantiene constante.

*Reacción del suelo (pH):* presenta un bajo porcentaje de variación (17,90 %) a la mínima distancia, incrementándose progresivamente hasta alcanzar su máximo a los 100 m.

*Materia orgánica:* presenta un alto porcentaje de variación (64,05 %) a la mínima distancia, aumentando muy poco a los 25 m, luego tiene un aumento considerable a los 50 m, para alcanzar su máximo a los 100 m.

*Retención de humedad Límite superior:* presenta un bajo porcentaje de variación (27,51 %) a la mínima distancia, duplicándose el % de varianza a los 25 m, con un ligero aumento a los 50 m, alcanzando su máximo a los 100 m.

*Retención de humedad Límite inferior:* presenta un alto porcentaje de variación (54,36 %) a la mínima distancia, incrementándose gradualmente hasta alcanzar su máximo a los 100 m.

*Volumen fragmentos totales (> 2 mm):* presenta un alto porcentaje de variación (75,40 %) a la mínima distancia, incrementándose y alcanzando su máximo a los 25 m, para mantenerse constante.

*Profundidad horizonte superficial:* presenta un alto porcentaje de variación (64,62 %) a la mínima distancia, se mantiene constante hasta los 25 m, luego se incrementa, alcanzando el 100 % de varianza a los 50 m.

Con base al análisis en conjunto de los variogramas de todas las variables anteriores, la distancia que resultó más adecuada para la segunda etapa de muestreo (muestreo sistemático) sería **12,5 m**. debido a la alta variabilidad espacial de las variables de los suelos de alta montaña, coincidiendo con resultados reportados en otras áreas de estudios en zonas con las mismas características obtenidos por Manrique (1997) y Sosa (1999). Sin embargo el muestreo sistemático no fue realizado usando esta distancia debido a los altos costos que ello implicaba y el tiempo necesario. Por lo tanto la distancia utilizada fue 50 m, para tratar de cubrir aquellos sectores del área de estudio que se encontraban con información escasa o inexistente.

**Cuadro 13. Porcentaje de varianza acumulada por nivel, de cada una de las variables consideradas en el análisis de varianza anidado.**

Variables	Niveles de muestreo			
	12,5 m	25 m	50 m	100 m
Arena	34,8	88,77	88,77	100
Arcilla	55,52	93,95	100	100
Densidad aparente	67,84	67,84	100	100
pH H <sub>2</sub> O	17,9	42,01	50,65	100
Materia Orgánica	64,05	65,59	93,8	100
R. humedad Límite superior (33 kPa)	27,51	53,36	58,07	100
R. humedad Límite inferior (1500 kPa)	54,36	70,16	93,83	100
Frag. gruesos	75,4	100	100	100
Totales				
Horizonte superficial	64,62	64,62	100	100

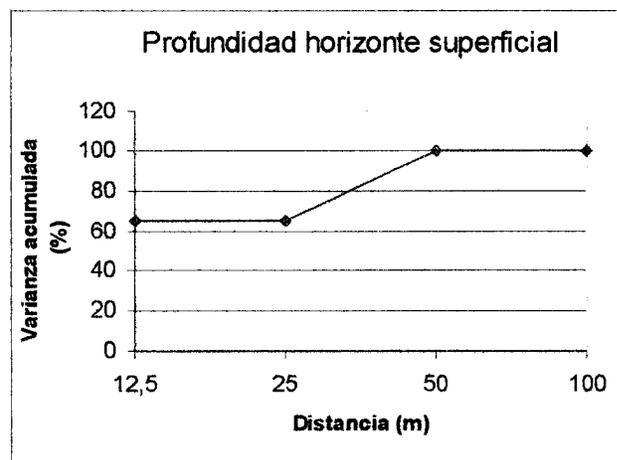
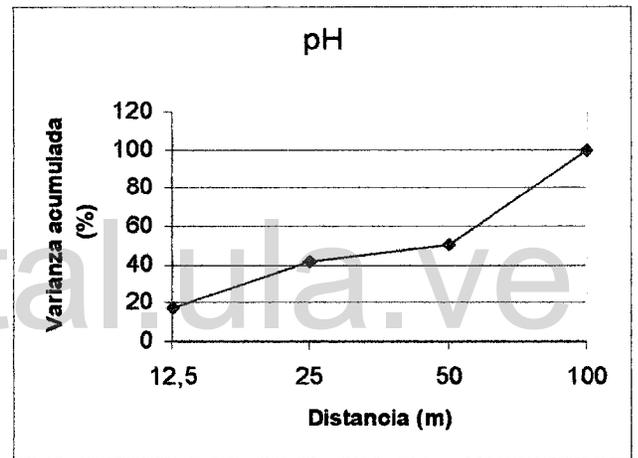
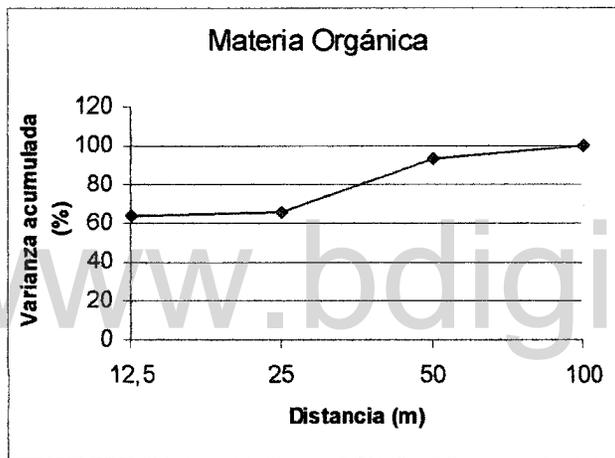
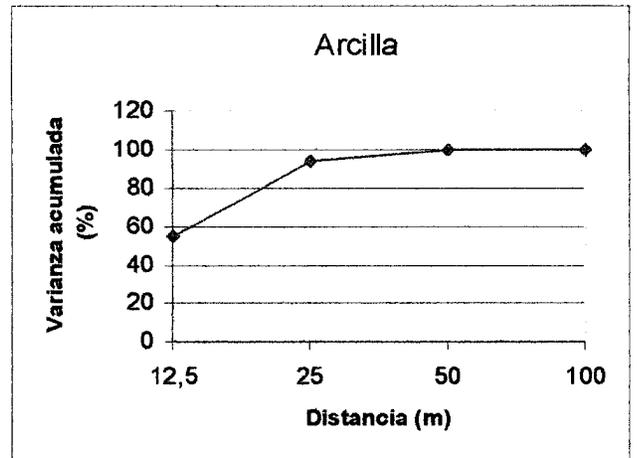
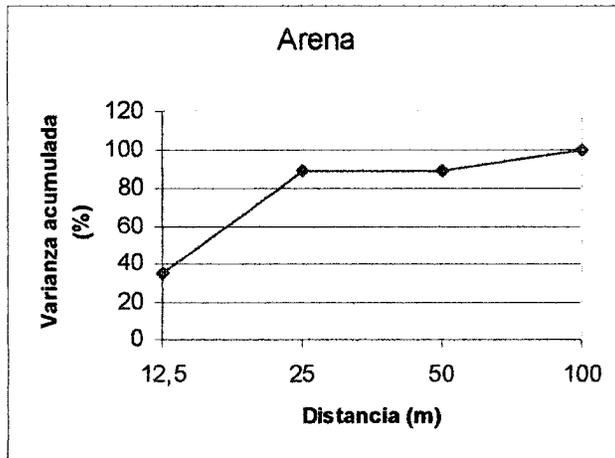
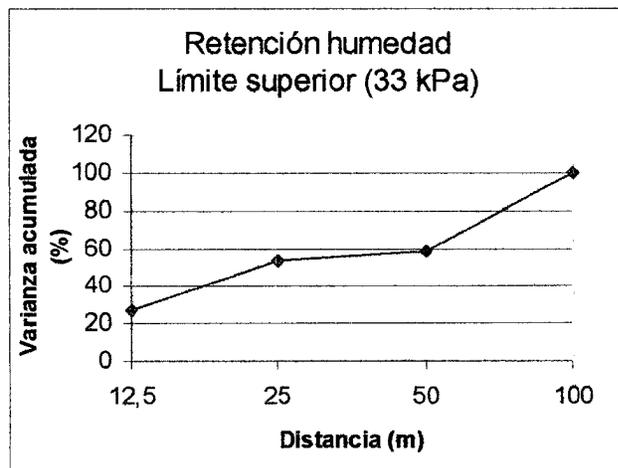
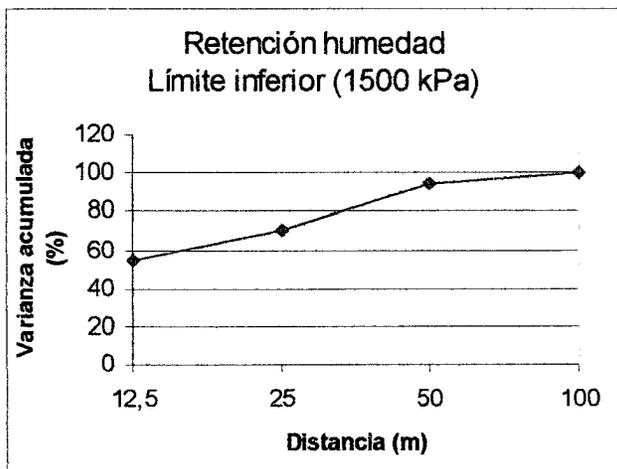


Figura 16a. Variogramas de las características físicas y químicas de los suelos del sector El Royal.



www.bdigital.ula.ve

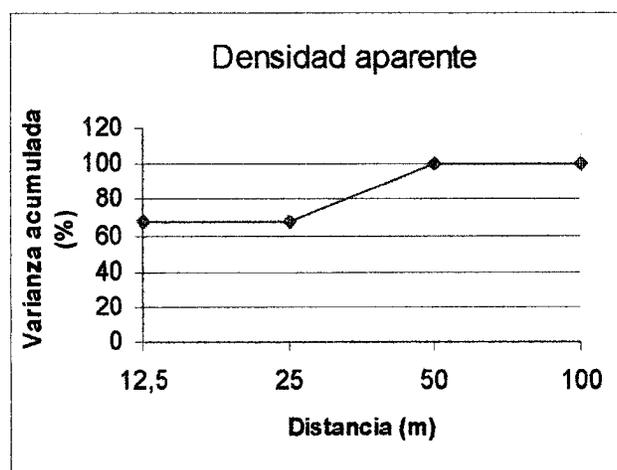
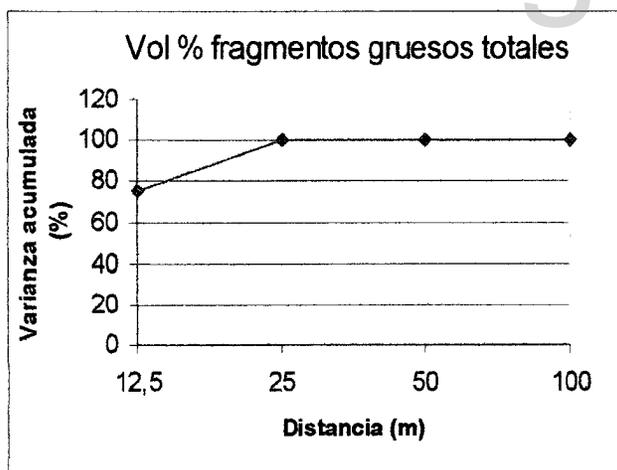


Figura 16b. Variogramas de las características físicas y químicas de los suelos del sector El Royal.

### **Análisis Estadístico Exploratorio.**

El análisis estadístico univariado permitió examinar el comportamiento de las variables estudiadas, para el total de las muestras obtenidas. Para ello en primer lugar se determinó la existencia de valores atípicos, los cuales fueron eliminados, para mejorar de esta manera los parámetros estadísticos. Luego se procedió a determinar los estadísticos básicos definitivos: media, desviación estándar, varianza, máximo, mínimo y coeficiente de variación (CV) (Cuadro 14). El coeficiente de variación refleja el grado de dispersión de cada una de las variables analizadas y según Rey (1996) se clasifica en valores bajos (menores a 20%), valores medios (entre 20 y 50 %) y valores altos (mayores a 50 %).

**Cuadro 14. Parámetros estadísticos más importantes para las propiedades del suelo consideradas en los muestreos.**

<b>Variab</b>	<b>Media</b>	<b>Desviación estándar</b>	<b>Varianza</b>	<b>Valor mínimo</b>	<b>Valor máximo</b>	<b>C V %</b>
Arcilla	171,7	30,5	928,6	80	236	17,9
Arena	484	56,9	3245	350	620	11,8
Densidad aparente	1,38	0,23	1,46	0,81	1,76	16,9
Materia orgánica	62,8	18,5	342	40	119	29,4
pH	6,12	0,74	0,55	4,22	7,31	12,1
R. humedad límite superior (33 kPa)	251,4	62,8	3939	163	419	24,9
R. humedad Límite inferior (1500 kPa)	122	34,3	1178	73	220	28,1
Frag. gruesos totales	15,47	7,72	59,67	0	33,57	49,4
Horizonte superficial	0,14	0,04	0,002	0,05	0,2	30,6

De acuerdo a los resultados que se muestran en el Cuadro 14, las variables que menor variación presentan, expresada por medio del coeficiente de variación (CV), son la arcilla, arena, densidad aparente y pH. El resto de las variables presentan una variación moderada. Por otra parte, los rangos de valores más amplios se observan en las variables arena, retención de humedad límite superior, fragmentos gruesos totales.

Los resultados obtenidos de la prueba de normalidad, aplicando el test de Smirnov-Kolmogorov, demuestran que todas las variables presentan una distribución normal (Cuadro 15).

**Cuadro 15. Pruebas de normalidad para las variables físicas y químicas analizadas**

Variable	$\Delta$ máx observado	$\Delta$ crítico	Nivel de confianza
Arcilla	0,159	0,166	*
Arena	0,097	0,165	*
Densidad aparente	0,143	0,165	*
Materia orgánica	0,164	0,174	*
pH	0,082	0,165	*
R. humedad Límite superior (33 kPa)	0,176	0,167	*
R. humedad Límite inferior (1500 kPa)	0,124	0,174	*
Frag gruesos totales	0,065	0,169	*
Horizonte supf	0,231	0,233	**

Nota: el símbolo (\*) indica un nivel de confianza al 95 %, y (\*\*) indica un nivel de confianza al 99 %.

### **Análisis Geoestadístico**

A través del análisis geoestadístico se estudio la variabilidad espacial del suelo y además para estimar los valores de las variables en el resto del cono. El análisis se realizó para todos los datos obtenidos en el muestreo anidado y sistemático.

En primer lugar se elaboraron los semivariogramas, los cuales se obtiene graficando las semivarianzas contra los incrementos de las distancias. Los semivariogramas de todas las variables presentaron estructura o un carácter transitivo, es decir, incrementos de las semivarianzas con el aumento de la distancia, para llegar a un valor máximo (sill) en el cual la dependencia espacial desaparece. Ejemplo de este comportamiento se puede observar en la Figura 17, correspondiente a la variable arcilla, el resto de los semivariogramas se muestran el apéndice A. Los modelos que resultaron con mayor ajuste para las distintas variables fueron el esférico y el exponencial. Los parámetros obtenidos del ajuste de los semivariogramas experimentales a los modelos teóricos: nugget (varianza aleatoria), sill (umbral) y alcance (rango), se muestran en el Cuadro 16.

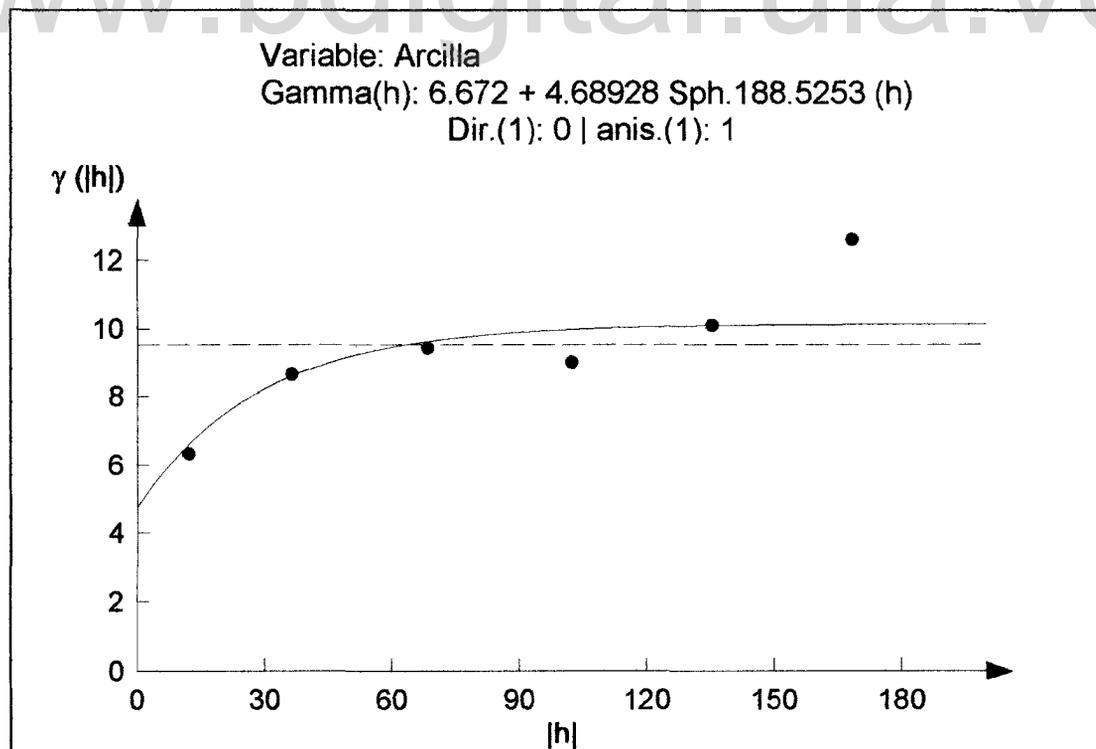


Figura 17. Semivariograma de la variable arcilla.

**Cuadro 16. Parámetros obtenidos del ajuste a modelos teóricos.**

Variable	Modelo	Nugget (varianza aleatoria)	Sill (umbral)	Alcance (rango)	sill + nugget	Varianza aleatoria %
Arcilla	exponencial	4,748	5,391	87,066	10,139	46,83
Arena	esférico	22,573	9,575	124,041	32,148	70,21
Densidad aparente	exponencial	0,007	0,041	119,448	0,049	15,07
Materia orgánica	esférico	1,446	1,279	149,360	2,725	53,07
pH	exponencial	0,000	0,489	100,958	0,489	0,00
R. humedad Límite superior (33 kPa)	exponencial	0,014	0,031	252,140	0,046	31,07
R. humedad Límite inferior (1500 kPa)	esférico	4,91	4,37	180,00	9,28	52,94
Frag gruesos totales	esférico	40,346	18,744	146,549	59,090	68,28
Horizonte superficial	exponencial	11,700	6,923	91,365	18,623	62,83

El alcance o rango de dependencia espacial oscila entre 87 y 252 m. Las variables con menor alcance son arcilla y fragmentos gruesos totales. Las de mayor alcance son retención de humedad en el límite superior y límite inferior, las demás variables tienen un alcance intermedio a los valores citados anteriormente (Cuadro 16).

Se observa que los porcentajes de la varianza aleatoria oscilan entre 0,0 y 82 %. Según Cambardela (1994) citado por Rivas (2001), cuando el porcentaje de la varianza aleatoria es menor al 25 % la variable presenta una alta dependencia espacial; lo cual significa la presencia de un comportamiento uniforme de la variable en el terreno. De acuerdo a esto, la densidad aparente y el pH son las variables que muestran una alta dependencia espacial. Las demás variables muestran una moderada dependencia espacial, debido a que los porcentajes de varianza se encuentra en un rango entre 25 y 75 %.

## **INTERPOLACIÓN**

Una vez que fueron ajustados los semivariogramas a modelos teóricos, y con la información generada de este proceso, como son los valores de los parámetros nugget, sill y alcance, se procedió a realizar la interpolación, para estimar los valores de las propiedades consideradas en aquellos sitios que no fueron muestreados, a través de un método de interpolación llamado Kriging puntual. Con el resultado de la interpolación se elaboraron los mapas de distribución de las variables, los cuales fueron usados para obtener los factores que conforman el índice de productividad (IP) y el del riesgo de erosión (IRE). Estos se muestran en el apéndice B.

### ***Análisis de los Factores del Índice de Productividad (IP).***

*Factor A:* este factor esta conformado por dos subfactores  $A_1$  y  $A_2$ . En este caso, de acuerdo con la metodología, el subfactor  $A_1$  (Retención de Humedad) es el determinante y se asume como factor A, ya que el tipo climático es seco.

El resultado muestra que los valores de este factor oscilan entre 0,30 y 0,79 (Figura 18a), lo que permite establecer un grado de limitación que va de ligero a severo, predominando el grado de limitación ligero, abarcando 81,61 % de la superficie del cono. El grado de limitación moderado ocupa el 18,02 % y se ubica en dos sectores a lo largo del cono y el severo ocupa el 0,03 % del total de la superficie y se ubica en la parte alta del mismo (Figura 18b). De allí se puede interpretar que estos suelos no presentan fuertes limitaciones en cuanto a la capacidad de retención de humedad.

*Factor B:* de los dos subfactores ( $B_1$ , y  $B_2$ ) que conforman a este factor, el determinante en este caso es el subfactor  $B_1$  (Densidad Aparente), debido a que el contenido volumétrico de fragmentos gruesos es menor al 30 %.

De acuerdo a los resultados obtenidos se observa que los valores del factor B oscilan entre 0,91 y 0,96, lo que se traduce en un grado de limitación muy ligero en toda la superficie del cono (Figuras 19a y 19 b).

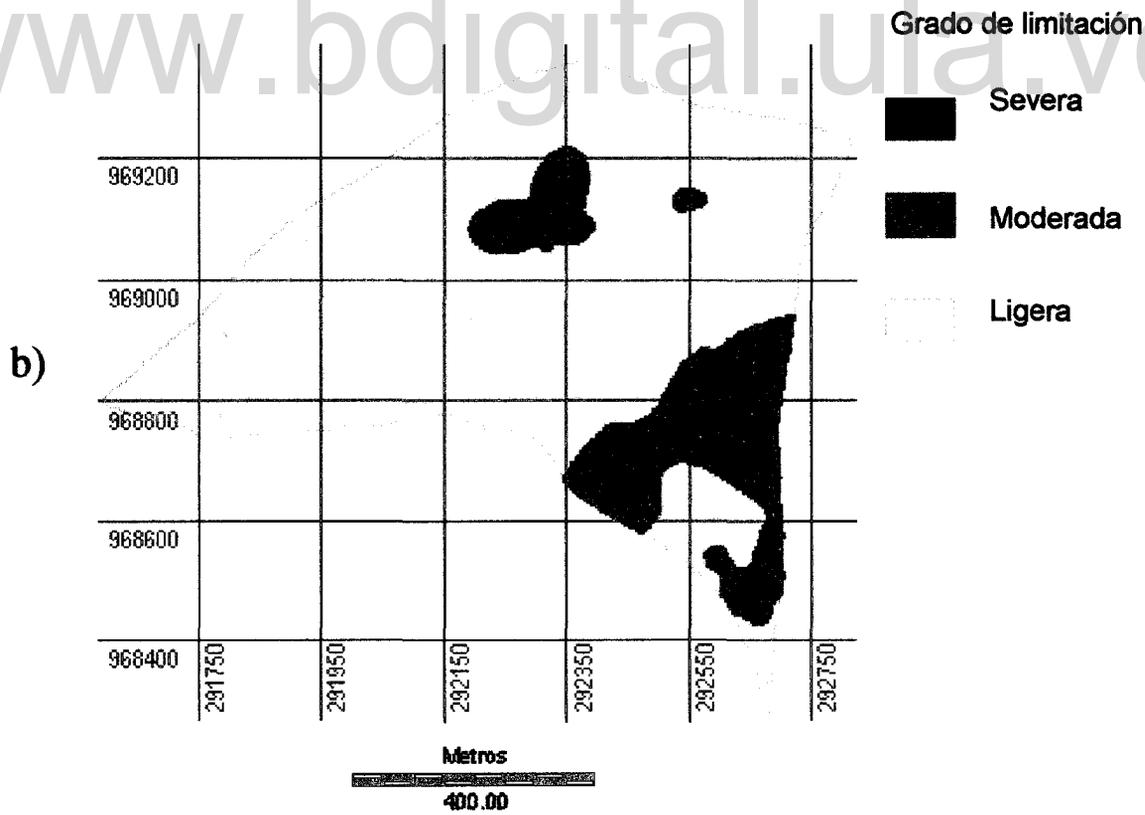
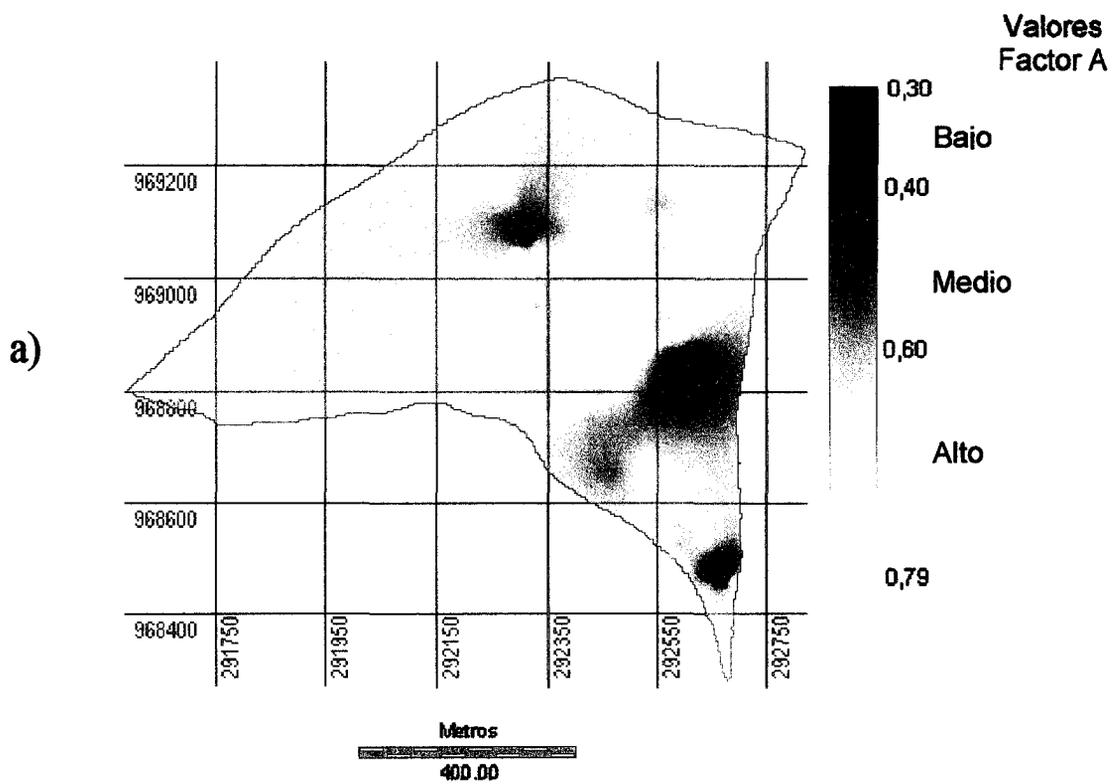


Figura 18. Distribución del Factor A, Cono El Royal: a) Continua; b) Discretizada.

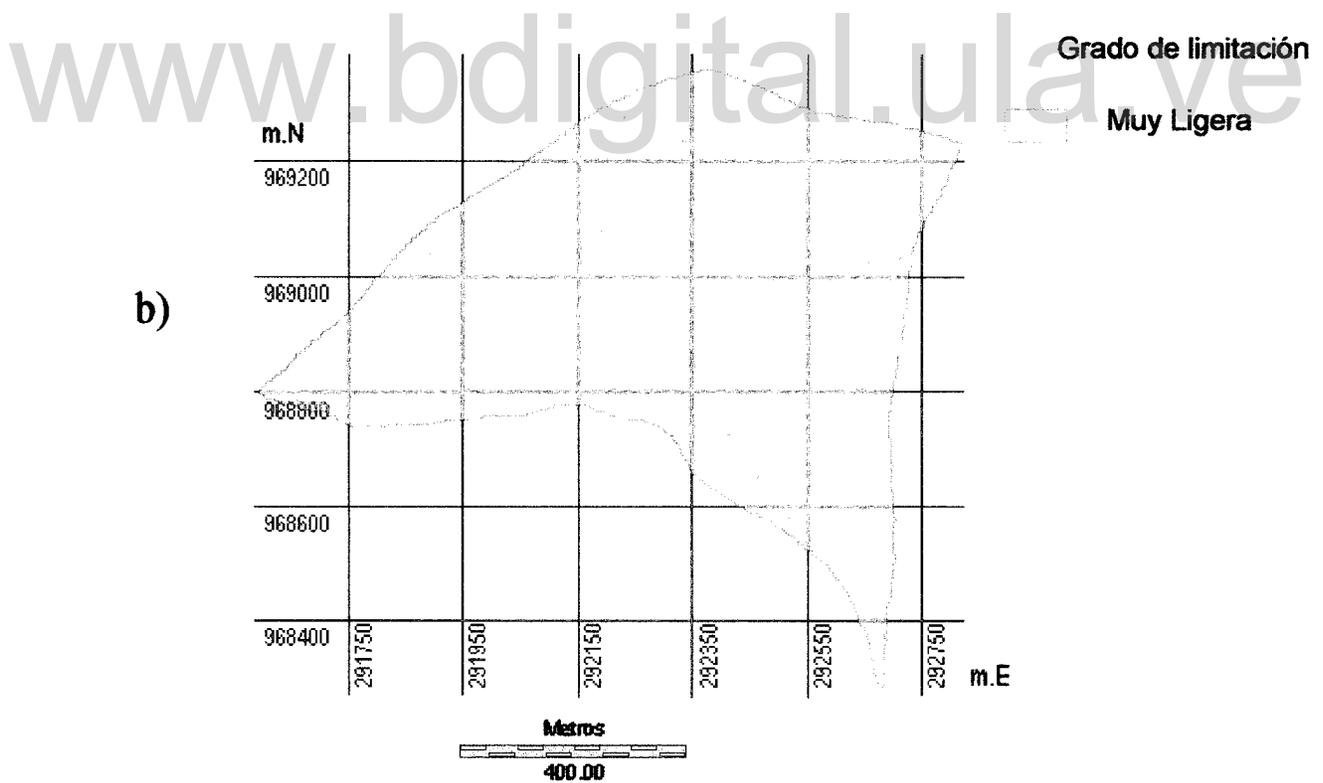
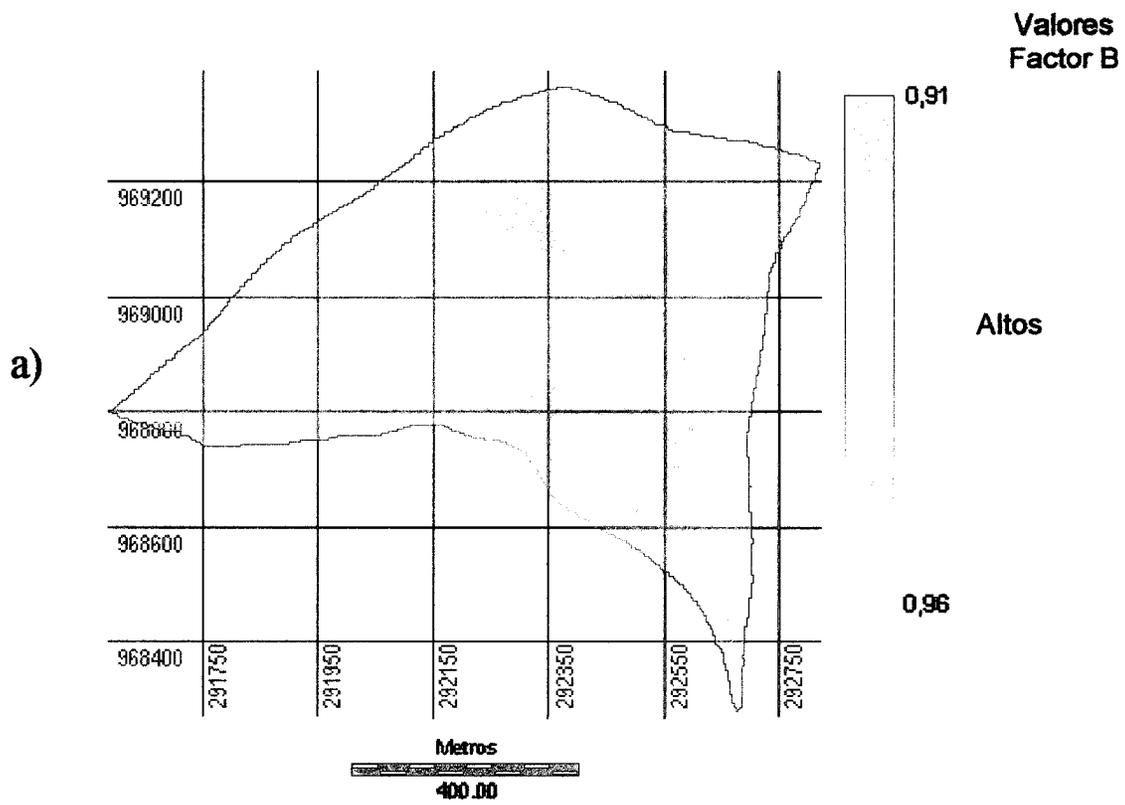


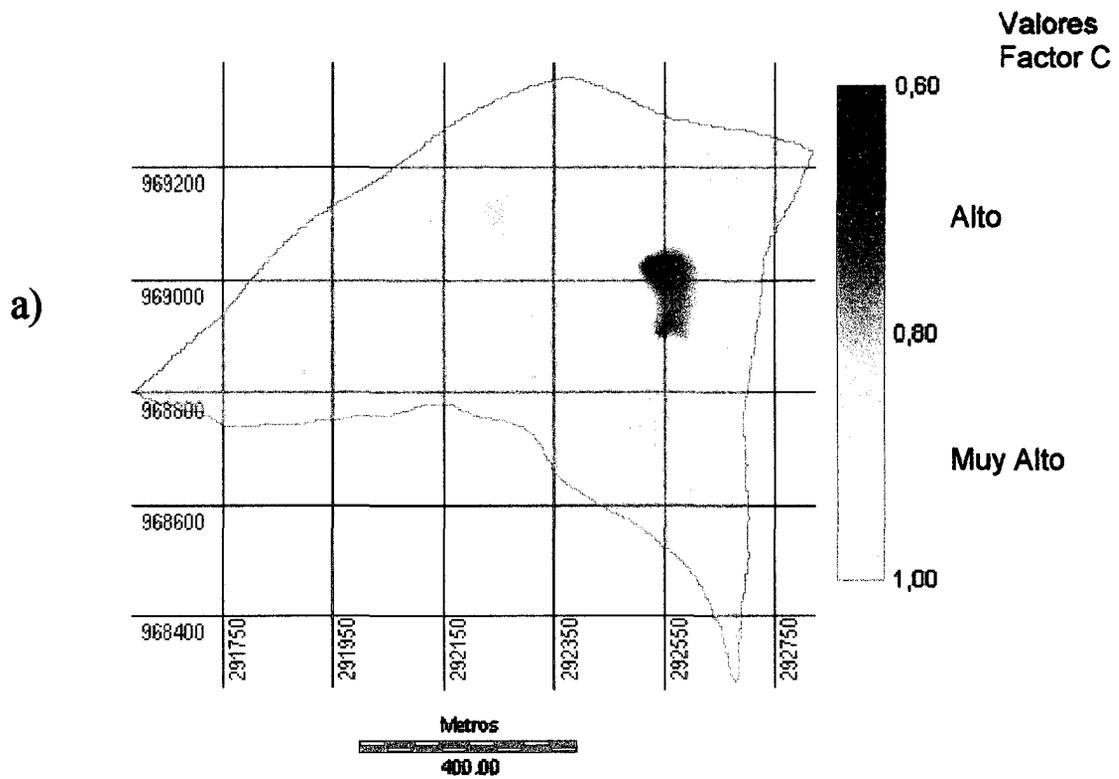
Figura 19. Distribución del Factor B, Cono El Royal. a) Continua; b) Discretizada.

*Factor C:* el subfactor determinante en este caso es  $C_1$  y no  $C_2$ , debido a que en el área de estudio se tienen valores altos a muy altos de materia orgánica, que son el resultado probablemente de acumulaciones por incorporación de enmiendas orgánicas durante mucho tiempo. Debido a este hecho el subfactor  $C_2$  no representa ninguna limitación para la productividad, es por ello que se selecciona el subfactor  $C_1$  como el limitante, asumiendo dicho subfactor como factor C.

Los resultados obtenidos muestran que los valores del factor C oscilan entre 0,57 y 1 (Figura 20a), traducándose esto como un grado de limitación que va de muy ligero a ligero, predominando el grado de limitación muy ligero abarcando el 97,81 % de la superficie del cono. El 2,23 % restante corresponde a la limitación ligera cuya ubicación se corresponde con los valores más bajos de pH (Figura 20b).

*Factor K:* de acuerdo con los resultados obtenidos, se observa que los valores del factor K oscilan entre 0,37 y 0,73 (Figura 21a), expresado esto como un grado de limitación que va de moderado o ligero, predominando la limitación moderada la cual abarca el 71,16 % de la superficie y el restante 28,88 % corresponde a la limitación ligera (Figura 21b). Estos valores de limitación moderado, obedecen a que el espesor del horizonte superficial es reducido, así como también la poca profundidad de enraizamiento que presenta el cultivo indicador (papa) que se está utilizando.

Al comparar los valores de los cuatro factores A, B, C y K, en general se observa que es el factor K el que presenta limitación moderada en la mayoría de la superficie del cono a diferencia de los otros factores que presentan limitaciones ligeras a muy ligeras, esto se interpretaría como que el factor K es el que contribuye en mayor grado a limitar la productividad del suelo, sin embargo en este caso debido a que el cultivo indicador utilizado tiene una capacidad explorativa de las raíces relativamente baja, el factor k no es limitante en la productividad del suelo.



www.bdigital.ula.ve

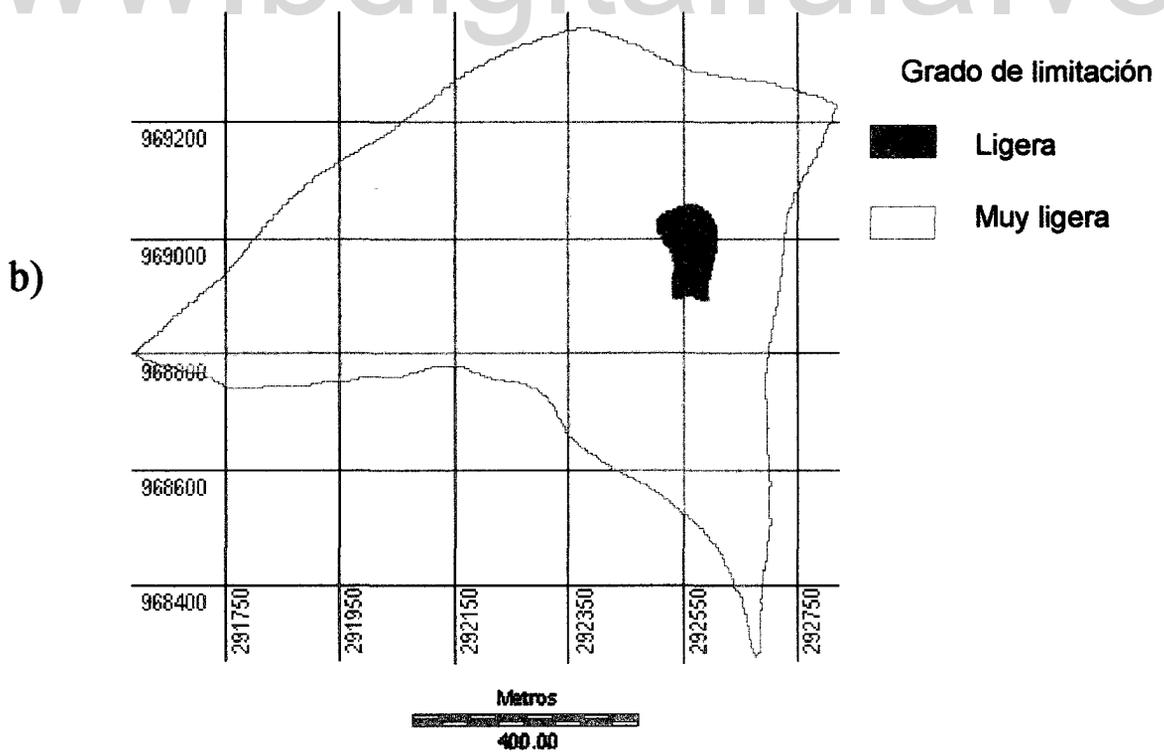


Figura 20. Distribución del Factor C, Cono El Royal. a) Continua; b) Discretizada.

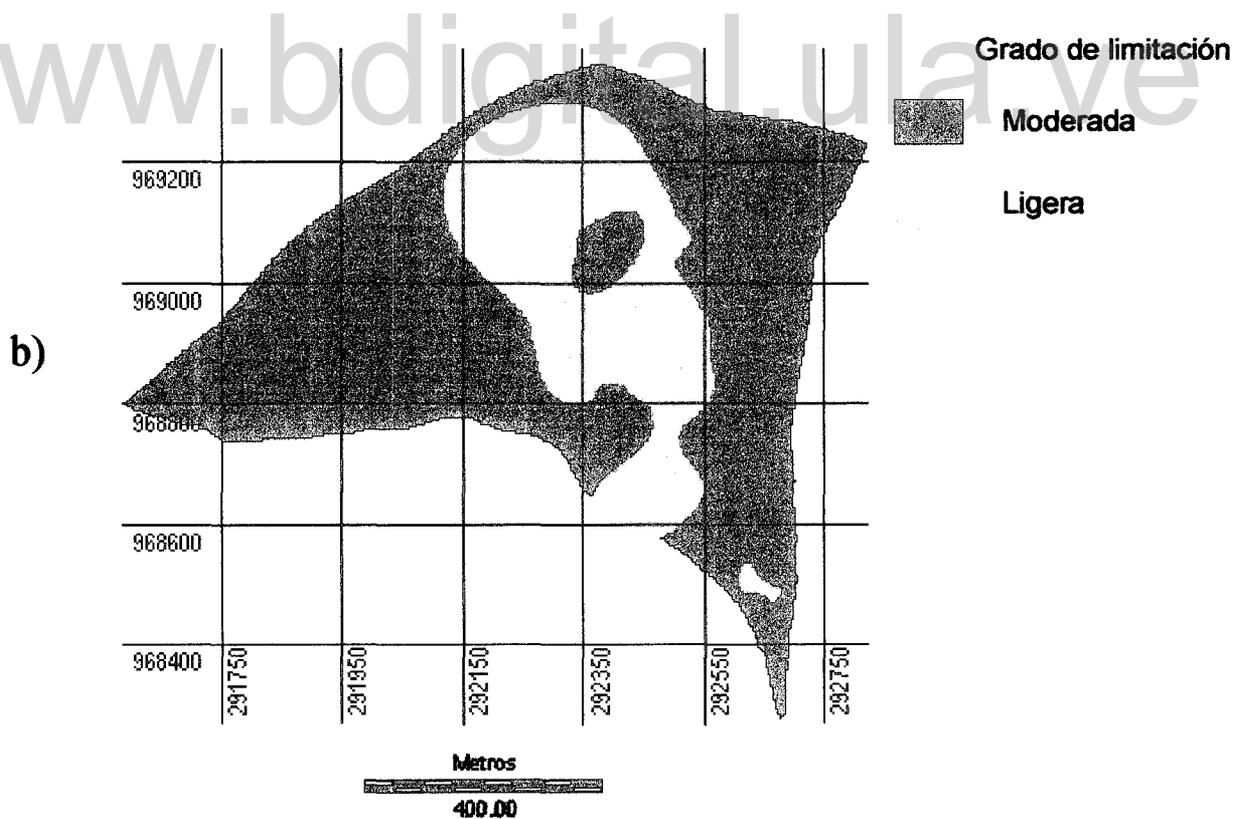
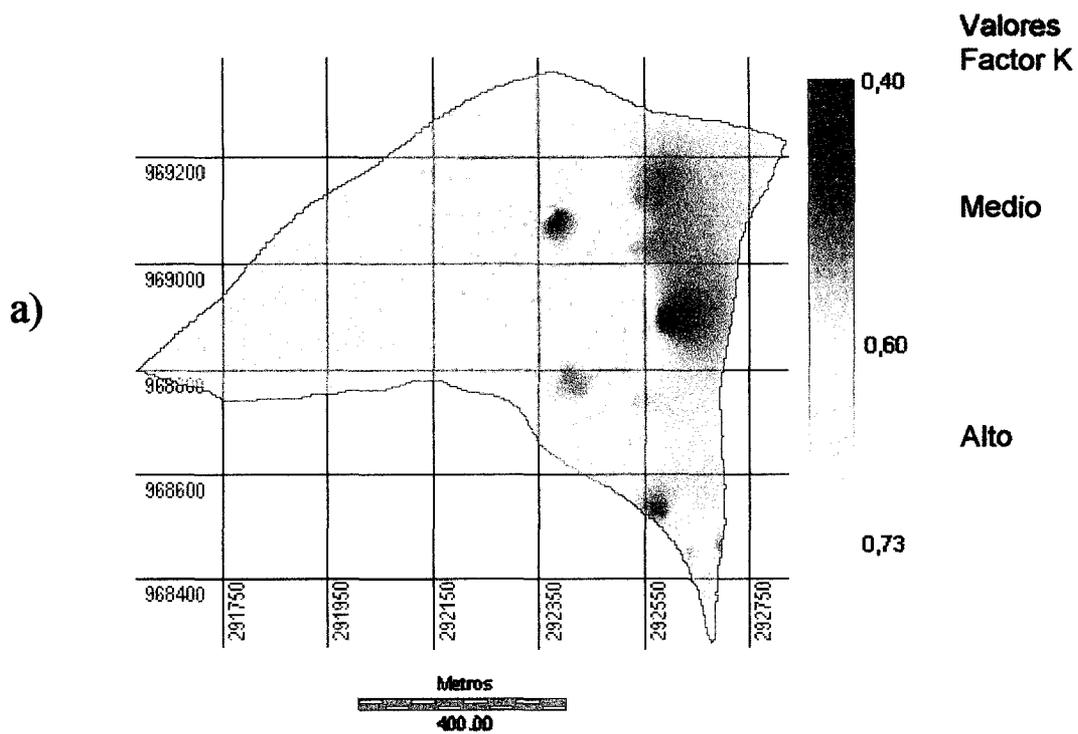


Figura 21. Distribución del Factor K, Cono El Royal. a) Continua; b) Discretizada.

*Índice de productividad (IP)*: los resultados muestran que los valores oscilan entre 0,15 y 0,54 (Figura 22a). Estos valores permitieron clasificar la productividad del suelo en el área de estudio de moderada a muy alta, predominando la productividad alta, la cual se distribuye en el 85,26 % de la superficie, la productividad moderada se distribuye en el 14,77 % ubicándose en la parte media y alta del cono (Figura 22b).

La productividad alta se ubicó en aquellos sitios cuyos valores de pH eran neutros (6,6 – 7,3), su capacidad de retención de humedad es media (8 -14%) y su valor de densidad aparente se ubica en valores medios (1,35 – 1,41). Este valor en la productividad nos indica que la mayoría de la superficie del cono es apta para una agricultura semi-intensiva para una amplia gama de cultivos hortícolas pero se recomienda implementar prácticas moderadas de manejo de suelos con el fin de mantener o incrementar la productividad y hacerla sostenida en el tiempo.

La productividad media o moderada se emplaza en aquellos lugares cuyos valores de pH eran de fuertemente ácido a extremadamente ácido (4 - 5), la capacidad de retención de humedad es baja (6 -10%) y los valor de densidad aparente se ubica en valores medios (1,35 – 1,41). Esta productividad moderada nos indica que este sector está limitado a una agricultura con una pequeña gama de cultivos. Se deberían implementar prácticas intensivas de manejo de suelos como son las prácticas de mejoramiento del suelo y uso de coberturas vegetales, para así incrementar la productividad del mismo ver Cuadro 17.

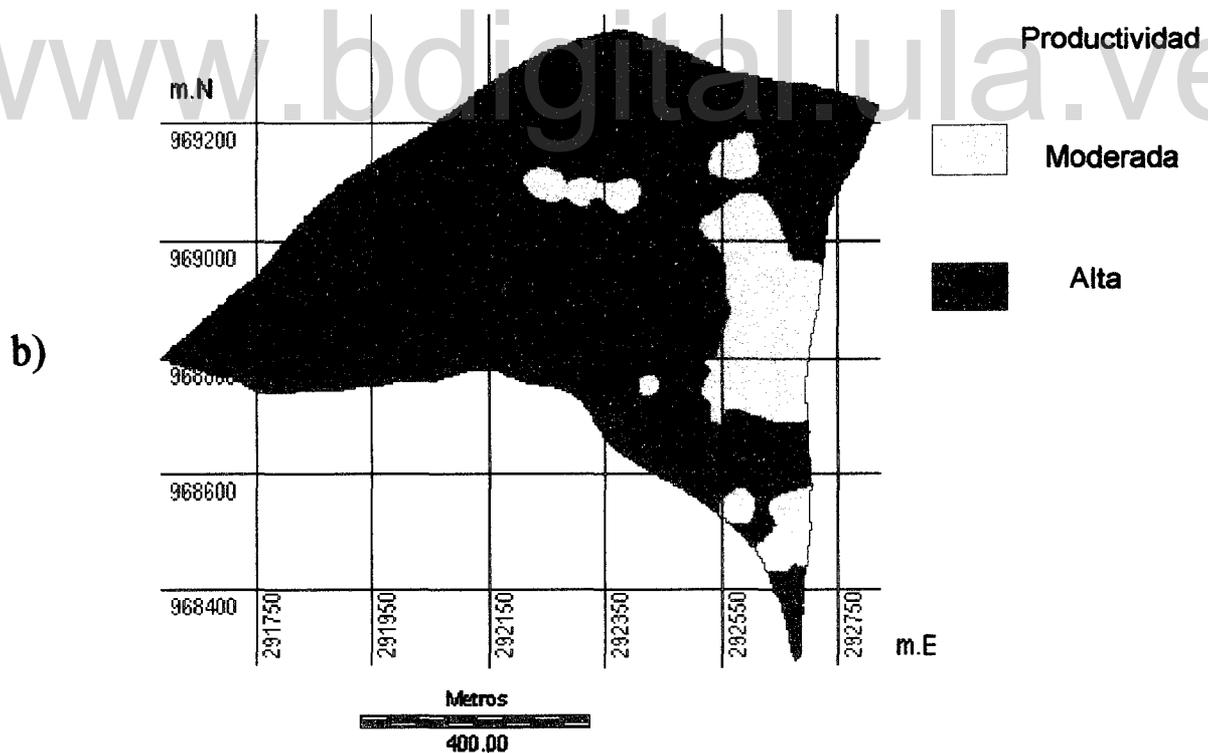
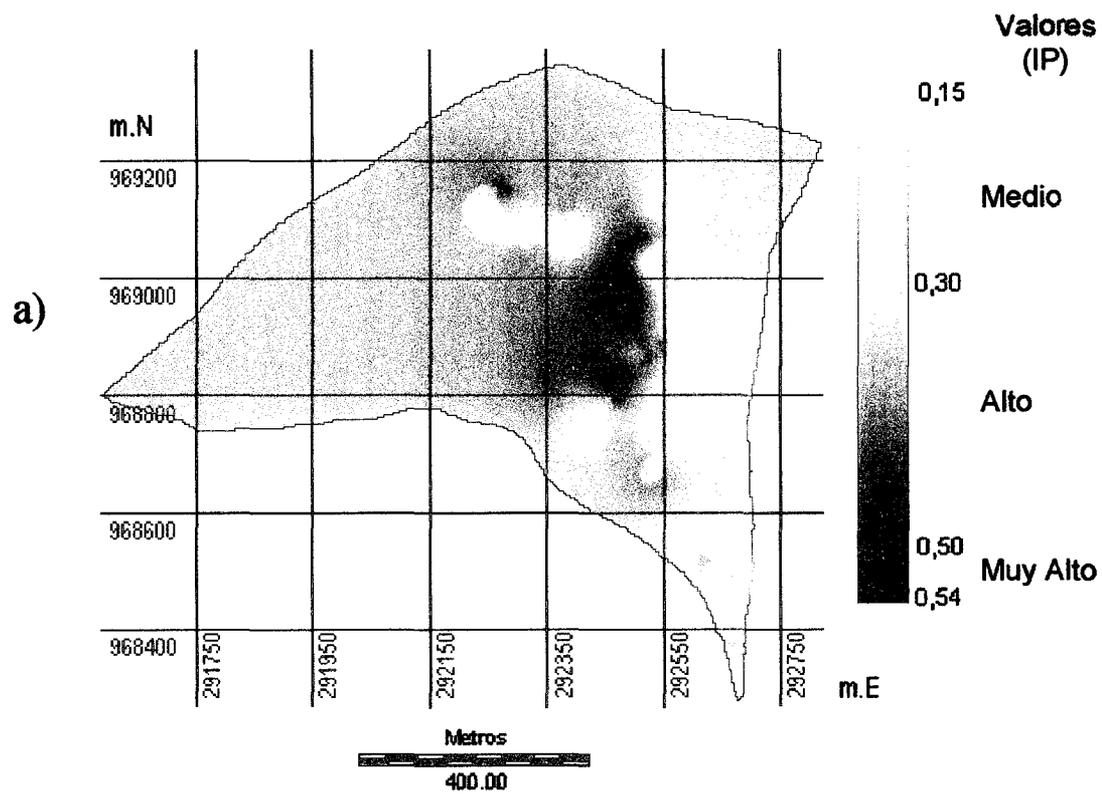


Figura 22. Distribución del Índice de Productividad, Cono El Royal. a) Continua; b) Discretizada.

### ***Análisis de los factores del índice de riesgo de erosión (IRE).***

*Factor  $\alpha$* : los resultados muestran que los valores oscilan entre 0,75 y 0,80, lo que se traduce en un grado de limitación severa, para toda la superficie del cono (Figura 23a y 23b). Estos valores pueden explicarse debido a que existe un predominio de texturas medias y un grado de estructura moderada, lo que indica que existen problemas con la infiltración y escorrentía del suelo, haciendo del área, un lugar susceptible a la erosión hídrica.

*Factor  $\eta$* : de acuerdo a los resultados, los valores estos oscilan entre 0 y 1 (Figura 24a), con un grado de limitación que va de ligera a severa. El grado de limitación predominante es la severa, distribuyéndose en el 65,36 % de la superficie del cono y ubicándose en la parte media alta del mismo donde la pendiente es más fuerte, la limitación moderada se distribuye en el 27,88 % y se ubica en la parte baja del cono y la limitación ligera ocupa el 6,76 % en la parte baja del cono donde se localizan algunos remanentes de terraza lo cuales presentan valores bajos de pendiente (0 – 7 %) (Figura 24b). Estos valores nos indican que la topografía incide de manera importante, por lo que este factor contribuye notablemente a potenciar el riesgo de erosión del suelo.

*Índice de riesgo de erosión*: los resultados muestran que los valores del Índice oscilan entre 0 y 0,45 (Figura 25a), Estos valores permiten clasificar el riesgo de erosión en el área de estudio de ligero a severo. Predominando el riesgo de erosión severo (mayor de 0,30), el cual abarca el 54,21 % de la superficie, ubicado en la parte media y alta del cono, seguido por el riesgo de erosión moderado (0,10 – 0,30), el cual se distribuye en el 39,02 %, el cual se localiza en la parte baja del área y por último se tiene el riesgo de erosión ligero (< 0,10) ocupando el 6,72 % del total y se ubica en la parte baja del cono. (Figura 25b).

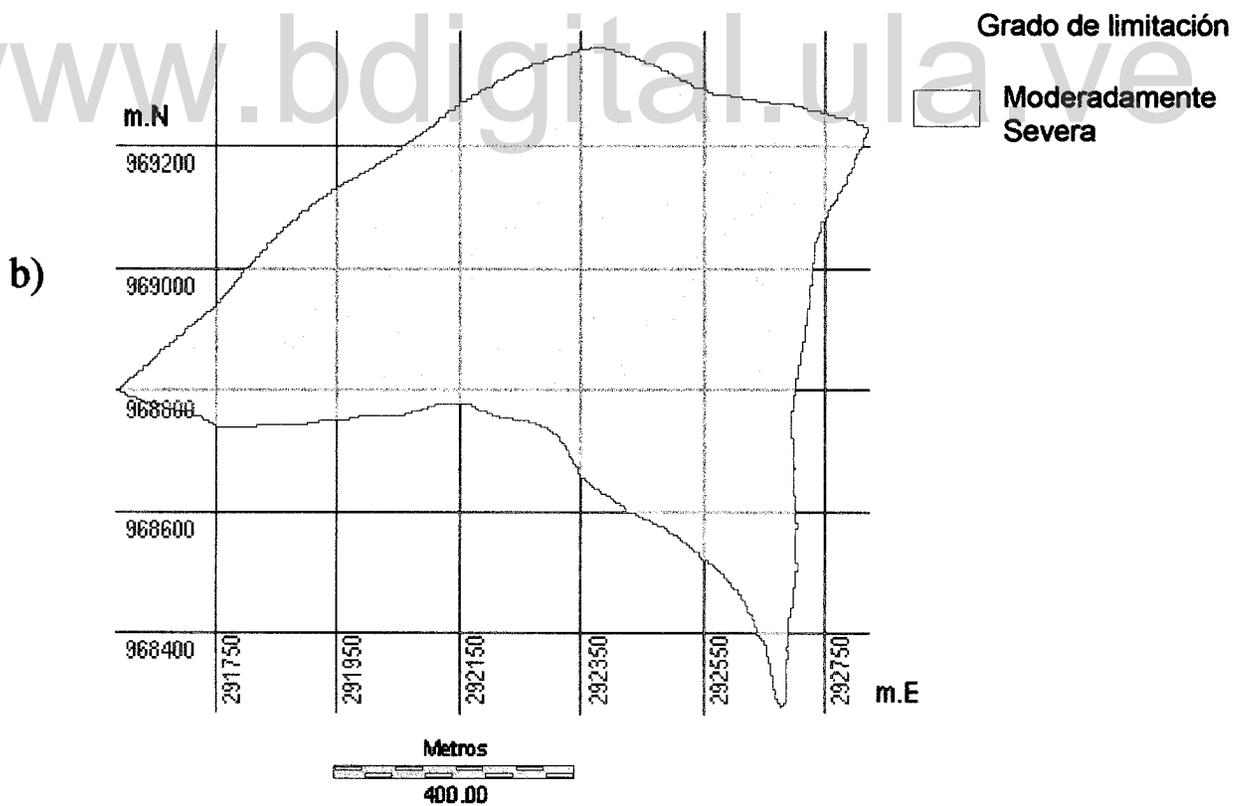
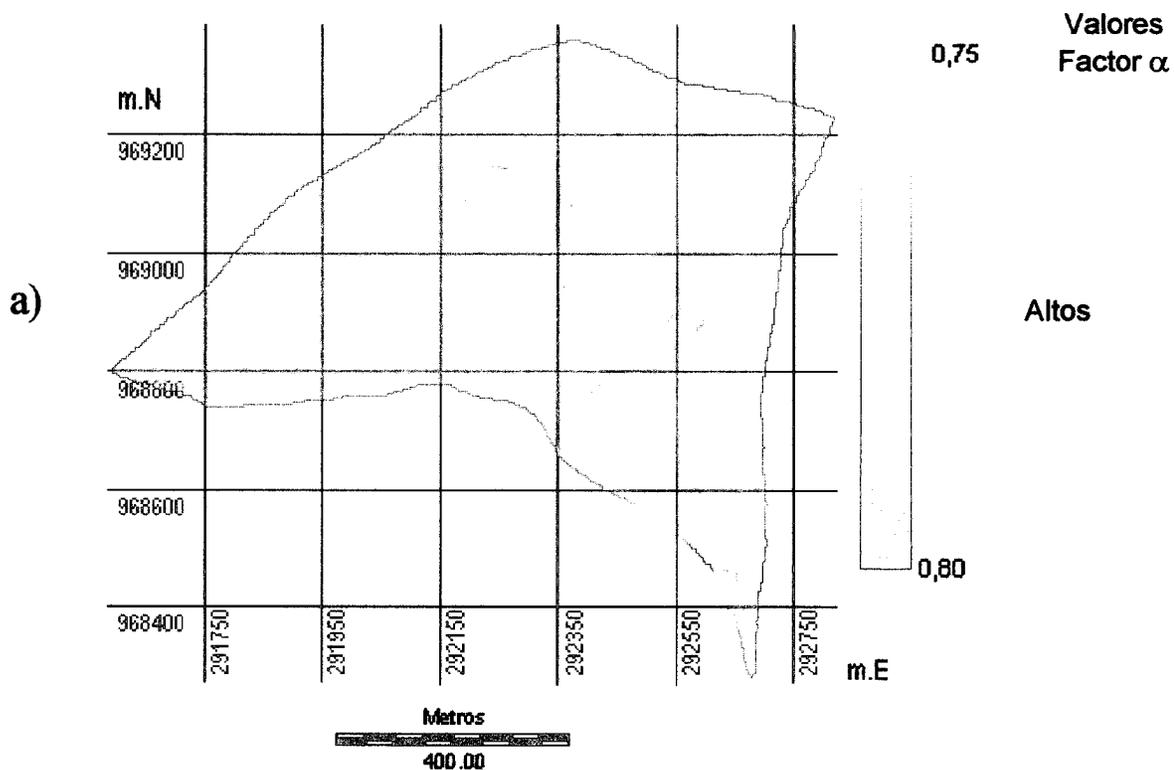


Figura 23. Distribución del Factor  $\alpha$ , Cono El Royal. a) Continua; b) Discretizada.

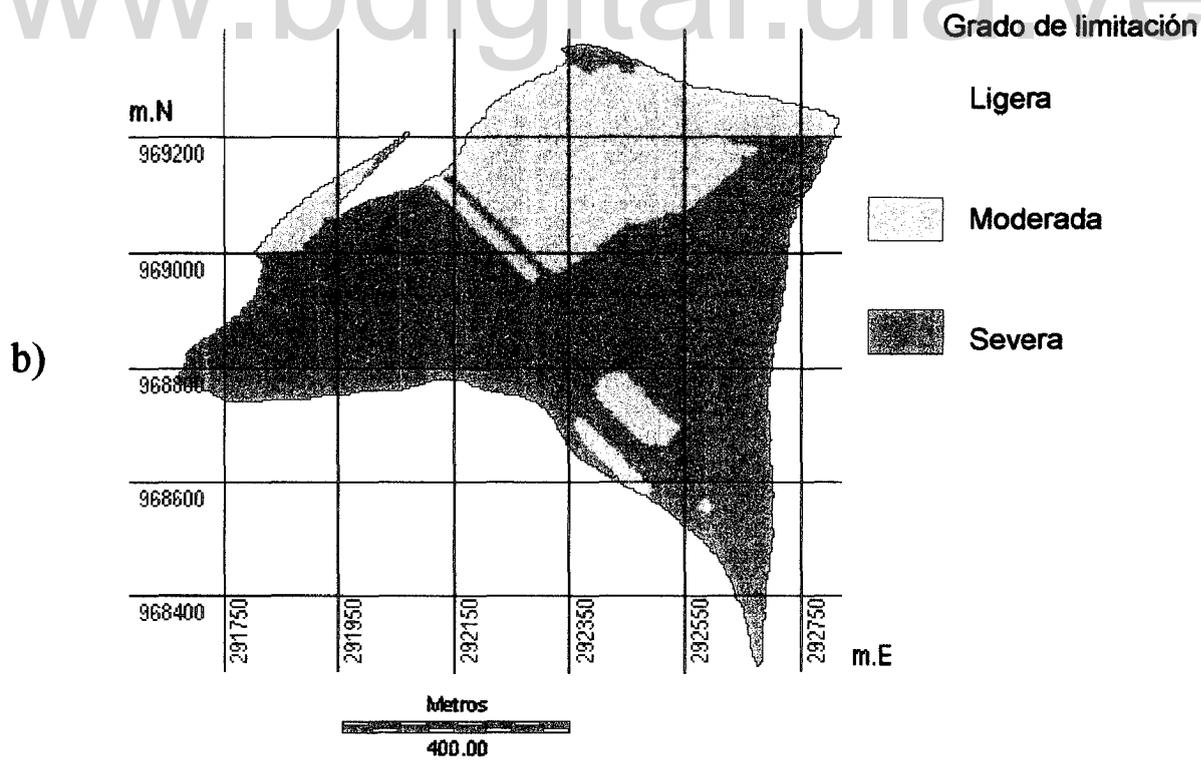
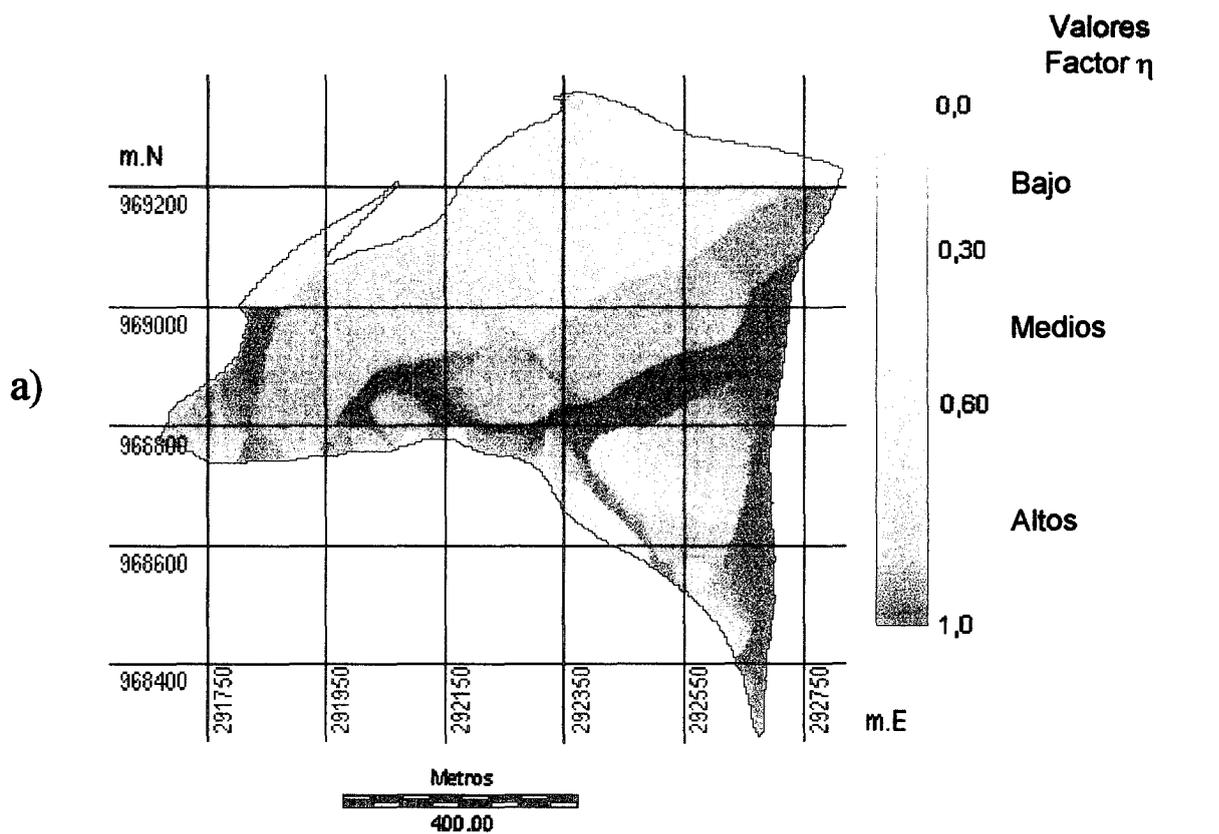


Figura 24. Distribución del Factor  $\eta$ , Cono El Royal. a) Continua; b) Discretizada.

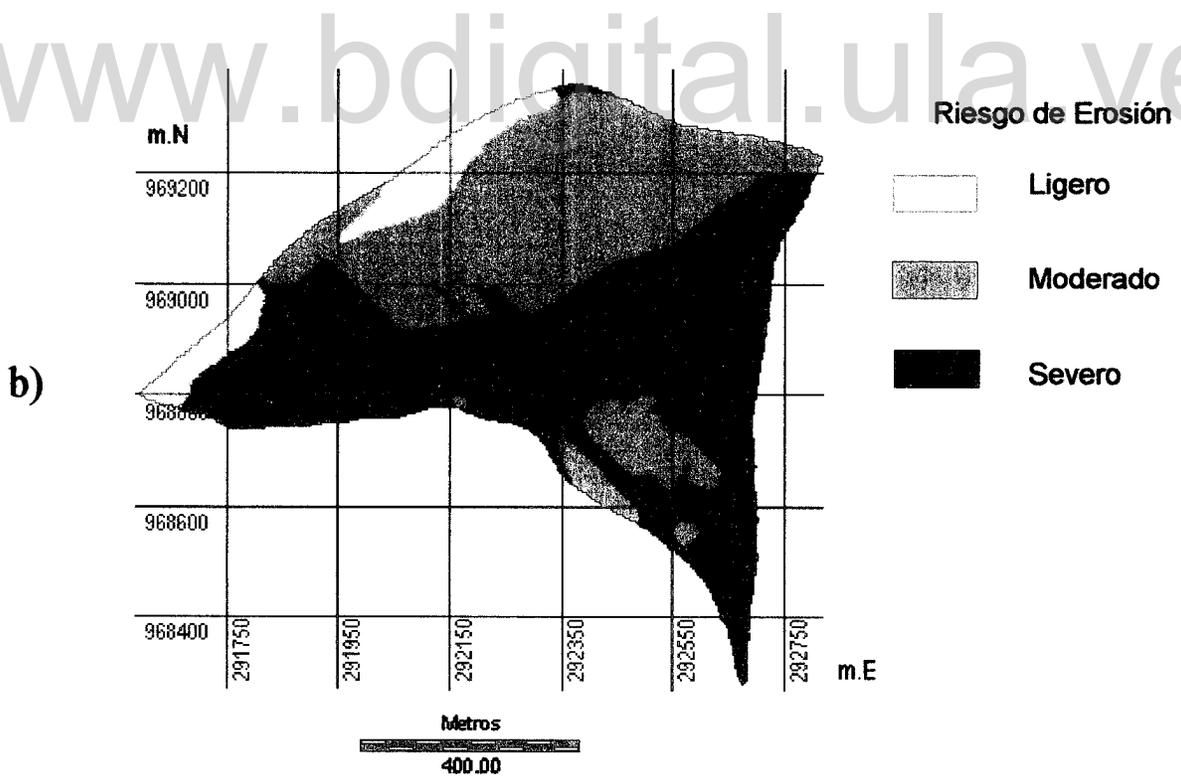
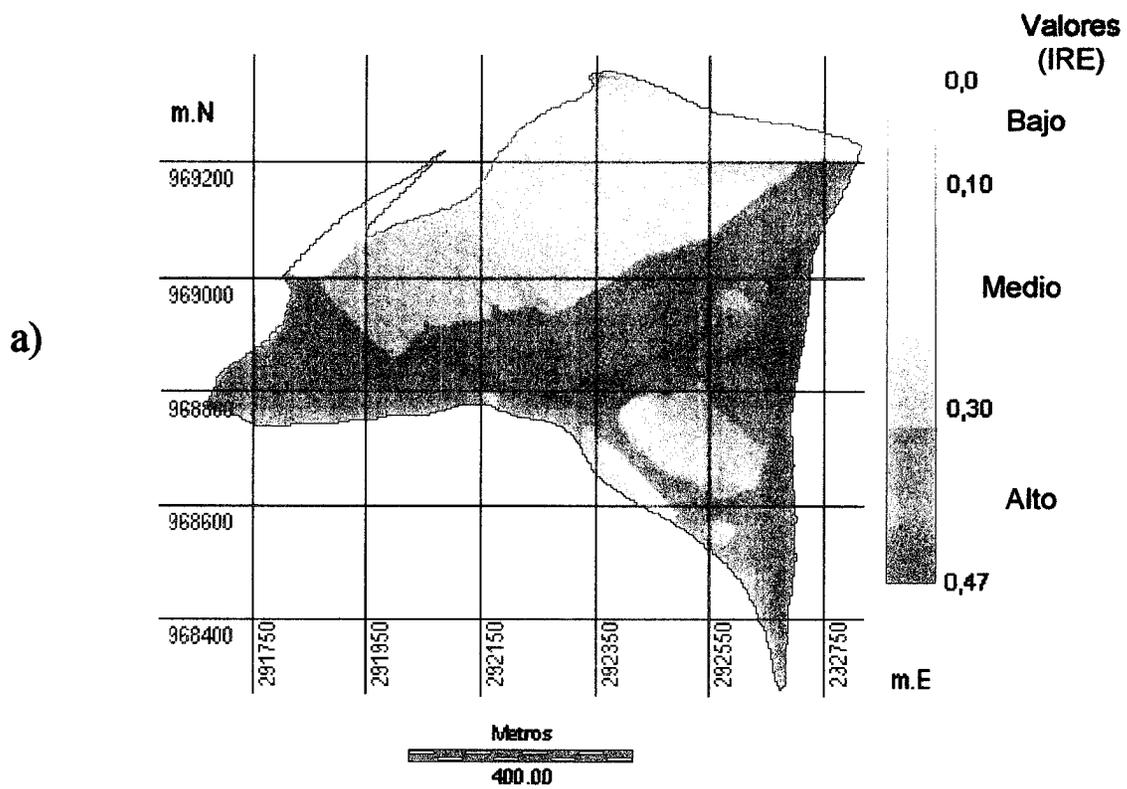


Figura 25. Índice Riesgo de Erosión, Cono El Royal. a) Continua; b) Discretizada.

Los valores altos del IRE indican que en esos sectores se presentan altos requerimientos de conservación del suelo, lo cual se logra combinando prácticas intensivas de manejo del suelo con coberturas vegetales moderadamente densas y prácticas de control de escurrimiento en laderas.

Los sectores que poseen un IRE moderado, requieren de la implementación de prácticas de conservación de suelos, combinando prácticas intensivas de manejo del suelo, manejo de coberturas vegetales densas y prácticas moderadas de control de escurrimiento en laderas.

En el sector que se presentan los valores bajos de IRE, en general se requieren prácticas ligeras de conservación de suelos, de modo de mejorar la capacidad de infiltración o la resistencia intrínseca del suelo a la erosión.

Al relacionar los factores ( $\alpha$  y  $\eta$ ) se observa que el factor más limitante es  $\alpha$  ya que para toda la superficie del cono, el grado de limitación es severo. Sin embargo el factor más importante fue el factor  $\eta$ , ya que la distribución del riesgo de erosión coincide en un alto grado de similitud con dicho factor.

De allí que se puede inferir que el Índice de Riesgo de Erosión esta asociado en mayor grado con la pendiente del terreno y en un menor grado al potencial de escorrentía de los suelos.

### ***Clasificación de las tierras de la microcuenca según la metodología de Delgado (2003).***

De acuerdo a la metodología aplicada en este trabajo, las tierras del área de estudio (cono) se clasificaron en: tierras en condición supercrítica (P), tierras en condición crítica (C), tierras en condición subcrítica (S) y tierras en reserva (R) (Mapa 14).

Tierras en condición supercrítica (P), abarcan el 30,65 % de la superficie del cono. Se localizan en la parte alta y media del cono, lugares cuya pendiente es fuerte.

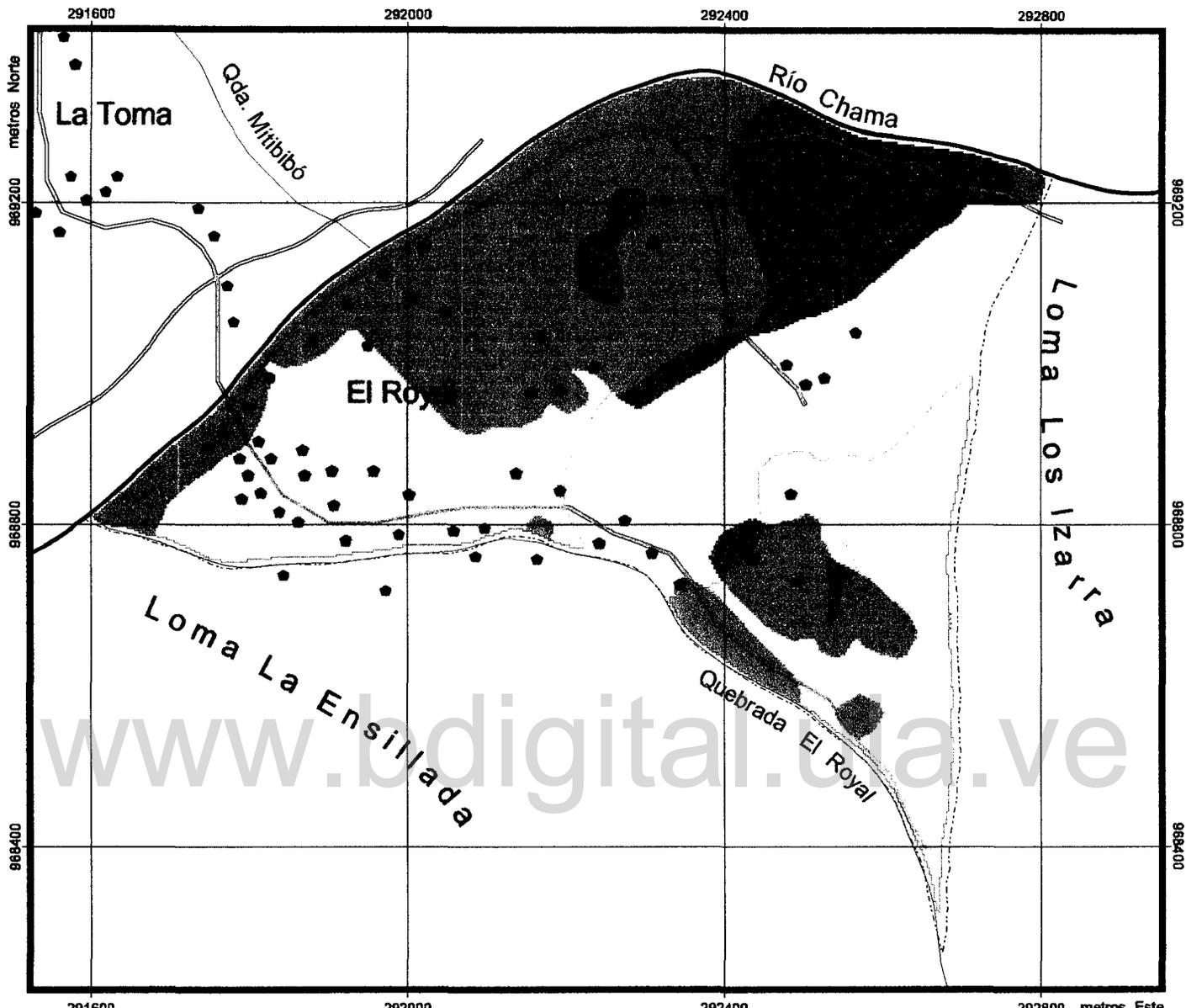
Estas tierras presentan suelos con una productividad alta, pero con altos riesgos de erosión. Actualmente están bajo uso agrícola intensivo, debido a esto deben ser incorporadas a programas permanentes de conservación de suelos. Se ubican en el primer nivel de prioridad para su tratamiento conservacionista.

Tierras en condición crítica (C), ocupan el 19,88 % de la superficie del cono. Estas tierras se localizan en la parte media del cono. Los suelos tienen una productividad moderada, con altos riesgos de erosión. Dado que estas tierras se encuentran actualmente bajo uso agrícola intensivo, se deben implementar medidas de conservación permanentes, combinando prácticas de manejo del suelo (mejorando la productividad) con prácticas intensivas de conservación de suelos. Se ubican en el segundo nivel de prioridad para su tratamiento conservacionista.

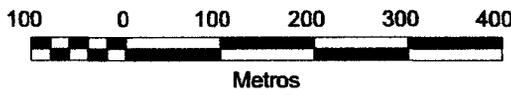
Tierras en condición subcrítica (S), abarcan el 35,74 % de la superficie del cono. Se localizan en su mayoría en la parte baja del cono aunque aparecen algunos sectores en la parte alta del mismo. Los suelos tienen una productividad alta y riesgo de erosión moderado a bajo. Actualmente estas tierras se encuentran bajo uso agrícola intensivo, aunque sean aptas para la producción agrícola continua, intensiva y con una variedad de cultivos hortícolas, se deben implementar prácticas conservacionistas con el fin de garantizar el mantenimiento de la capacidad productiva de estos suelos. Se ubican en el tercer nivel de prioridad para su tratamiento conservacionista.

Tierras en reserva (R), ocupan el 13,74 % de la superficie del cono. Se localizan principalmente en la parte baja del cono. Estas tierras actualmente tienen suelos con una productividad moderada y riesgos de erosión moderados. Se encuentran actualmente bajo un uso agrícola intensivo, por lo que es recomendable implementar prácticas de manejo del suelo que mejoren sustancialmente la productividad del mismo. Para su tratamiento conservacionista están en el cuarto nivel de prioridad, pero debido a que estas tierras están siendo utilizadas igual que las tierras en condición subcríticas, por su adyacencia, se recomienda ubicarlas en un tercer nivel de prioridad.

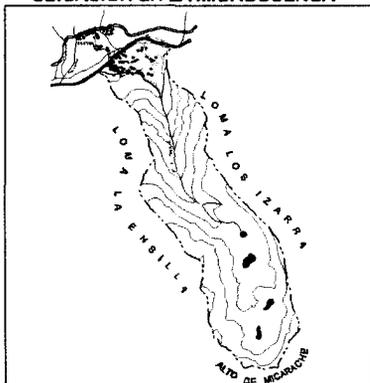
# PRODUCTIVIDAD DEL SUELO Y RIESGO DE EROSIÓN. CONO EL ROYAL, ESTADO MÉRIDA



291600 292000 292400 292800 metros Este



UBICACIÓN EN LA MICROCUENCA



## CLASIFICACIÓN AGRÍCOLA DE LAS DE TIERRAS MONTAÑOSAS (Delgado)

- |  |                             |  |                 |
|--|-----------------------------|--|-----------------|
|  | Condición Super Crítica (P) |  | Límite del Cono |
|  | Condición Crítica (C)       |  | Vías            |
|  | Condición Sub Crítica (S)   |  | Ríos            |
|  | Reserva (R)                 |  | Quebradas       |
|  |                             |  | Viviendas       |

UBICACIÓN RELATIVA ESTADAL



FUENTE: Delgado Fernando. Un Protocolo para la Selección de Alternativas de Conservación de Suelos en Áreas Montañosas Tropicales. CIDIAT. año 2001.  
Elaborado, Digitalizado y Corregido Cartográficamente por Ing. Forestal Larisa B. Valero Hernández, año 2004.

**MAPA Nº 14**

De acuerdo con estos resultados se puede establecer que los requerimientos de conservación van a estar comprendidos por las tres primeras categorías, es decir, de ligeros a altos.

***Comparación entre resultados de ambas clasificaciones:***

Al comparar los resultados de ambas clasificaciones (Delgado y Sheng), se observa, que existe una similitud entre las categorías obtenidas, en especial en lo que se refiere al factor pendiente del terreno, y en cuanto a las medidas conservacionistas del suelo a implementar.

Es de hacer notar que ambas clasificaciones sólo tiene en común dos factores como son la pendiente del terreno y la profundidad del suelo. Por su parte la metodología de Delgado (2003) toma en cuenta otros factores adicionales como son los aspectos climáticos y las características intrínsecas del suelo, de allí que los resultados obtenidos con esta metodología proporcionan mayor información, en cuanto a las propiedades físicas y químicas del suelo, la productividad actual del suelo, y cuales propiedades físicas y químicas, están influyendo en al productividad del mismo.

A la vez se obtiene información con relación al potencial de los suelos a procesos de erosión, hecho este fundamental en la planificación conservacionista del uso de la tierra ya que permite proponer los usos y las prácticas conservacionistas apropiadas según el caso.

La metodología de Sheng (1972) es sencilla, de fácil y rápida aplicación, pero tiene una limitante, que no considera los factores químicos ni físicos del suelo. De allí que la información que generan sus resultados es muy general. Las tierras son clasificadas según los cultivos más intensivos que pueden ser practicados a ella y las prácticas conservacionistas propuestas son igualmente muy generales.

Al comparar las prácticas conservacionistas que cada sistema propone, se aprecia una marcada diferencia, ya que las sugeridas por el sistema de Sheng son en su mayoría sólo prácticas dirigidas a reducir los impactos de la esorrentía, es decir,

obras o estructuras de conservación de suelos en laderas. El sistema de Delgado (2003) realiza una mejor descripción y separación de los tipos de prácticas agronómicas a implementar. Además sugiere un conjunto más amplio de prácticas, como son las prácticas de mejoramiento del suelo y uso de coberturas, las cuales tienen como función crear condiciones que mejoren significativamente la productividad del suelo y a la vez mejoran la estructura del mismo mitigando el impacto de los agentes erosivos. Aunado a esto se tiene que son prácticas que pueden ser adoptadas por los agricultores con mayor facilidad ya que son menos costosas y de fácil implementación pudiéndose incorporar a las prácticas cotidianas de manejo.

El sistema de Delgado (2003), necesita para su ejecución, una elevada información que alimente el modelo, información ésta de difícil disponibilidad en la mayoría de los casos, trayendo como consecuencia mayor tiempo y gastos en dinero para la obtención de los resultados. Por otro lado, esta metodología exige de sus usuarios, un conocimiento básico en climatología, pedología, geoestadística, entre otras ciencias, para que la información obtenida sea utilizada de la mejor forma posible, o en otras palabras se requiere de un profesional en el área de ciencias ambientales para su elaboración.

El sistema de Sheng, requiere una información con mucho menos detalle, lo que conlleva a implementarla con menor tiempo y dinero en la obtención de los resultados. Esta metodología no exige conocimientos de las ciencias antes mencionadas, ya que sólo amerita conocer el grado de pendiente y la profundidad del suelo, por lo que bastaría de un personal con experiencia.

El sistema de Sheng, define los usos y las prácticas conservacionistas de una forma muy práctica pero en muchos de los casos su generalidad, no se adapta a la realidad de muchos lugares.

## **IDENTIFICACIÓN DE LAS PRÁCTICAS ALTERNATIVAS PARA EL ÁREA DE ESTUDIO.**

Una vez obtenida la clasificación de las tierras y establecidos los requerimientos conservacionistas, la selección de las prácticas se realizó en función del (los) subfactor(es) limitante(s), tanto para el *Índice de Productividad* como para el *Índice Riesgo de Erosión*. Las prácticas seleccionadas son aquellas que pueden ser implementadas según las condiciones particulares del área de estudio, y que además tienen pocas limitaciones para su ejecución y son fácilmente adoptadas por los agricultores. Tomando en cuenta el subfactor determinante para cada factor, en el cuadro 17 se presentan las prácticas más adecuadas.

### **Prácticas Conservacionistas:**

*Abonos Orgánicos:* consiste en la incorporación de productos de origen orgánico (vegetal o animal) que tienen por objetivo aportar cantidades importantes de nutrientes y mejorar una serie de propiedades de los suelos relacionadas con la fertilidad y con la capacidad para retener los elementos nutritivos. Estos abonos contienen gran parte de las sustancias nutritivas, son abonos universales, los elementos que contienen son suministrados a las plantas de manera lenta pero continua, incrementan la capacidad de retención de humedad del suelo, disminuyen la acidez del suelo, favorece una buena estructura, aumentan la capacidad de infiltración del agua y reducen el riesgo de erosión. Estos efectos se reflejan en la mejora de los factores  $A_1$ ,  $B_1$ ,  $C_1$ ,  $K$  y  $\alpha$ . Entre los abonos orgánicos se tiene el estiércol (natural o mejorado), el purín, el compost y algunos residuos agroindustriales, cabe destacar la importancia que tiene el aprovechamiento de los residuos orgánicos de los cultivos como la papa, zanahoria, ajo y hortalizas de hoja (coliflor, brócoli).

*Manejo de restos de cosecha como cobertura:* consiste en utilizar los restos de cosecha esparciéndolo sobre la superficie para cubrir el suelo. Estas coberturas aportan materia orgánica fresca al suelo, mejoran la tasa de infiltración, reducen la escorrentía, aumentan la retención de humedad en el suelo, estimulan la

agregación del suelo y previenen contra la erosión. Estos beneficios se traducen en la mejora de los factores  $B_1$ ,  $C_1$  y  $\alpha$ . Los restos de cosechas del trigo y la papa, así como la cáscara de arroz son recomendados para utilizarlos como coberturas.

**Cuadro 17. Matriz de Prácticas de Conservación de Suelos para los parámetros del Índice de Productividad y Riesgo de Erosión.**

Prácticas Conservacionistas	Factores					
	Índice de Productividad				Riesgo de Erosión	
	$A_1$	$B_1$	$C_1$	K	$\alpha$	$\eta$
Uso de Abonos Orgánicos	x	x	x	x	x	
Uso de Abonos Verdes	x	x	x	x	x	
Manejo de Restos de Cosecha como cobertura		x	x		x	
Incorporación de Fertilizantes			x			
Enmiendas para Suelos ácidos			x			
Rotación de Cultivos y Asociación de Cultivos			x			
Cultivos Tolerantes			x	x		
Zanjas de Absorción	x					
Terrazas de Bordos Anchos (Absorción)	x					
Siembra en Contorno					x	
Barreras Vivas					x	
Surcos en Contornos					x	
Drenaje Superficial					x	
Barreras de Piedra						x
Riego por Aspersión	x					x
Labranza Conservacionista	x	x			x	

*Abonos Verdes:* consisten en incorporar al suelo biomasa verde (fresca) de algunos cultivos especiales, en un determinado momento de su desarrollo. El proceso de descomposición posterior convierte esta biomasa en un aporte de materia orgánica para el suelo, mejorando las propiedades químicas y físicas del mismo. Las especies a utilizar preferiblemente deben ser leguminosas. Estos abonos incorporan materia orgánica al suelo, aumentan la capacidad de retención de nutrientes, aumentan la capacidad de retención de humedad, disminuyen la compactación, aumentan la capacidad de infiltración y permeabilidad, disminuyen la escorrentía y la erosión. Todos estos beneficios se ven reflejados en el mejoramiento de los factores  $A_1$ ,  $B_1$ ,  $C_1$ ,  $K$  y  $\alpha$ . Las especies recomendadas a ser utilizadas en el área de estudio como abonos verdes son el lupino (*Lupinus angustifolius*), la crotalaria (*Crotalaria juncea*) y la haba (*Vicia faba*).

*Incorporación de fertilizantes minerales:* consiste en la incorporación al suelo de productos químicos que suministren los elementos nutritivos esenciales para el crecimiento y desarrollo de las plantas. Estos productos van a contribuir a aportar elementos nutritivos para las plantas, favorecer la capacidad del suelo para retener temporalmente esos elementos y mejorar las condiciones del suelo para permitir un mejor aprovechamiento de los nutrientes. Es preferible la utilización de fertilizantes minerales de liberación lenta de origen natural o sintético, ya que ellos liberan con mayor lentitud los elementos nutritivos que contiene, aumentando así las posibilidades de absorción y reducir las pérdidas que ocurren en el suelo.

*Enmiendas para Suelos ácidos:* consiste en la aplicación de productos o sustancias al suelo cuya acción fundamental es corregir la acidez y mejorando así su fertilidad. La práctica de uso más común es la aplicación de enmiendas calcáreas, el producto utilizado más ampliamente es la calcita, caliza o cal agrícola (carbonato de calcio  $\text{CaCO}_3$ ).

*Rotación de Cultivos y Asociaciones de Cultivos:* La rotación de cultivos consiste en la sucesión de cultivos diferentes, en ciclos agrícolas continuos, sobre un mismo terreno. Utilizando apropiadamente esta medida, se contribuye a mantener

la productividad de los suelos. La asociación de cultivos se refiere a intercalar varios cultivos en una unidad de terreno. Para el área de estudio la rotación recomendada es la de papa-zanahoria-haba.

*Terrazas de banco:* conocidas también como bancales, son estructuras formadas por terraplenes y taludes a manera de gradas o bancos, construidas en sentido transversal a la dirección de la pendiente, se adaptan bien a terrenos con pendientes elevadas entre 12 – 60 %. Consiste en cortes en la ladera, como si fueran escalones que permiten aprovechar el espacio horizontal y vertical, constituyendo el medio mecánico más antiguo de protección contra la erosión de los suelos. Estas estructuras mejoran la configuración de terrenos inclinados, disminuyen la velocidad de la escorrentía y permiten aprovechar las áreas de escurrimiento entre terrazas como áreas de captación de agua. Debido a la topografía irregular del terreno de la zona andina, las terrazas de banco se convierten en una alternativa válida para la conservación.

*Barreras de piedras:* son construidos en forma transversal a la máxima pendiente del terreno y pueden ser muros o acordonamiento de piedras. Su finalidad es detener la pérdida del suelo y lograr que se fije en la parte superior de la barrera, generándose la formación de terrazas progresivas.

*Barreras vivas:* son hileras de plantas perennes y de crecimiento denso, sembradas en dirección perpendicular a la pendiente del terreno, generalmente en contorno o en curva de nivel. Se deben emplear plantas de rápido crecimiento de conformación densa, de porte bajo, de reproducción asexual, se siembran una cerca de la otra para que formen hileras continuas. Esta práctica reduce la velocidad de escurrimiento, favorecen la infiltración y protege de la sedimentación a obras estructurales como canales de desviación, zanjas de absorción, acequias de ladera. Algunas de las especies que pueden ser utilizadas como barreras vivas en el área de estudio son el vetiver (*Vetiveria zizanooides*), pasto kikuyo (*Pennisetum clandestinum*), pasto limoncillo (*Cymbopongo citratos*).

*Cultivos en contorno:* consiste en labrar el terreno hacer surcos y sembrar el cultivo en dirección perpendicular a la pendiente, siguiendo aproximadamente las curvas de nivel. Esta práctica permite reducir la velocidad del escurrimiento superficial, aumenta la infiltración y reduce la erosión.

*Zanjas de absorción:* consisten en canales tabicados a intervalos regulares contruidos en sentido perpendicular a la pendiente, y en terrenos con pendientes mayores a 15%. El objetivo de las zanjas es retener el agua de escurrimiento empozándola para su posterior infiltración.

*Labranza conservacionista:* es un sistema de labranza cuya finalidad es minimizar las pérdidas de suelo y agua, en cantidad y calidad, de manera de no afectar las condiciones para una buena germinación y adecuado establecimiento del cultivo. El resultado final de la labranza conservacionista debería ser el de retener un nivel adecuado de residuos vegetales en superficie. De los diferentes métodos de labranza conservacionista existentes se recomienda propiciar la labranza bajo cubierta muerta (Labranza-mulch) con siembra directa y combinada con implementos verticales.

*Riego por aspersión:* es un sistema de riego que utiliza aspersores o rociadores por medio de los cual se repone agua al suelo en consonancia con la capacidad de infiltración, logrando una alta eficiencia, así como un buen control de la erosión. Este tipo de riego es recomendable en suelos poco profundos, erosionables y en terrenos ondulados o muy pendientes.

### **VALIDACIÓN FINAL.**

A manera de validación, al comparar los resultados obtenidos con la aplicación de ambas metodologías de Clasificación de Tierras con el uso actual observado, se aprecia que el uso dado a estas tierras ha sido intensivo por muchos años, lo cual indica que, o bien la productividad se ha mantenido alta gracias a las condiciones naturales iniciales (suelos muy productivos) o bien ello ha sido posible gracias al manejo que ha hecho el agricultor, utilizando diferentes técnicas para aumentar o

mantener esta productividad, con el uso reiterado de abonos, fertilizantes, riego, etc. Esto coincide, a manera general, con los resultados de este trabajo cuando concluye que una alta proporción de las tierras del cono son de productividad moderada a alta (método de Delgado) o tierras altamente cultivables (C1 según el método de Sheng). La comparación entre el mapa de uso actual de las tierras del cono con el mapa de productividad del suelo arroja similitud entre ambos, ya que el sector de más alta productividad coincide con el uso actual de cultivos hortícolas intensivos, así como los sectores con productividad moderada, presentan un uso fundamentalmente de pastizales y/o de protección.

Se observó que los agricultores aplican actualmente algunas de las prácticas conservacionistas propuestas por la metodología de Delgado (2003), como son ciertas prácticas de mejoramiento del suelo (incorporación de abonos orgánicos y fertilizantes), rotaciones de cultivos y algunas técnicas de labranza conservacionista, así como determinadas prácticas para control de escurrimientos, básicamente la siembra en contorno. Sin embargo, es preciso destacar que existe una falta de asesoramiento por parte del estado para incentivar aun más a los agricultores a que apliquen una mayor diversidad de prácticas conservacionistas disponibles a bajos costos, o para que lo hagan de una forma más intensiva en toda la microcuenca. También es importante reforzar el conocimiento autóctono, ya que algunas de estas prácticas han pasado de generación en generación sin que se hayan hecho esfuerzos para mantener o extender estas experiencias, así como de su implementación y mantenimiento, enfatizando las ventajas que ello representa para el mejoramiento general de la agricultura de la zona, y de la calidad de vida de la población.

## CAPÍTULO VI

### **CONCLUSIONES**

La clasificación de las tierras de acuerdo a la metodología de Sheng (1971) generó, para toda la microcuenca, las categorías de capacidad de uso siguientes: tierras cultivables C<sub>1</sub>, C<sub>2</sub>, C<sub>3</sub>, pastizales y forestales. La mayor parte de las tierras cultivables se encuentran ubicadas en la zona baja de la microcuenca (cono) en el resto de la superficie de la microcuenca predominan las categorías pastizales y forestales.

En el área del cono específicamente, se tienen distribuidas las categorías de la siguiente manera: tierras cultivables C<sub>1</sub> se distribuye en el 60,37 %, tierras cultivables C<sub>2</sub> en el 23,16 %, tierras cultivables C<sub>3</sub> en el 2,84 %, pastizales en el 13,09 % y forestales en el 0,54 %.

En general los suelos del área del cono presentan una moderada capacidad de retención de humedad, densidad aparente variable, pH con valores extremadamente bajos a neutros y altos contenidos de materia orgánica, todo lo cual le imprime condiciones de alta productividad a los suelos, predominando la productividad alta la cual se distribuye en la mayor parte de la superficie del cono. Estos valores de productividad indican que la mayoría de las tierras son aptas para uso agrícola semi-intensivo, con implementación de prácticas moderadas de manejo de suelo.

En relación al Riesgo de Erosión se observa que en general, los suelos presentan bajas tasa de infiltración, alta escorrentía y predominio de pendientes medias a fuertes. Estos resultados permiten clasificar el riesgo de erosión en alto, distribuyéndose en aproximadamente la mitad de la superficie del cono. La característica que contribuye en mayor grado con este riesgo es el potencial de escurrimiento del suelo.

Lo anterior se confirma con los valores y factores correspondientes a los índices IP e IRE. En este sentido se observó para el IP valores que oscilan entre 0,15 y 0,54, predominando la productividad alta, la cual se distribuye en el 85,26 % de la superficie del cono. Para el IRE los valores oscilan entre 0 y 0,45, predominando el riesgo de erosión alto (mayor de 0,30), el cual abarca el 54,21 % de la superficie del cono.

De acuerdo a la metodología de Delgado (2003), las tierras del cono fueron clasificadas en: tierras en condición supercrítica (P) distribuidas en 30,65 % de la superficie, tierras en condición crítica (C) distribuidas en 19,88 % del área, tierras en condición subcrítica (S) distribuidas en 35,74 % de la superficie y tierras en reserva (R) ocupando el 13,74 % de la superficie. Según estos resultados se puede concluir que alrededor del 65% del área son tierras con una productividad alta y un 50 % del área posee condiciones de riesgo de erosión alto. Toda el área tiene aptitudes suficientes para una producción agrícola semi – intensiva, siempre y cuando se realicen medidas conservacionistas de suelos.

La metodología de Sheng, concurda con lo establecido por el método IP-IRE en cuanto la mayor parte del área del cono (83% aproximadamente), corresponden a tierras con un elevado potencial para el uso agrícola semi – intensivo, no obstante, estas tierras requieren medidas de conservación de suelos extensivas a intensivas.

Al comparar las prácticas conservacionistas que cada sistema propone, se aprecia una marcada diferencia, ya que las sugeridas por el sistema de Sheng son en su mayoría, sólo prácticas dirigidas a reducir los impactos de la escorrentía, es decir, obras o estructuras de conservación de suelos en laderas. En cambio el sistema de Delgado realiza una mejor descripción y separación de los tipos de prácticas agronómicas a implementar. Además sugiere un conjunto más amplio de prácticas, como son las prácticas de mejoramiento del suelo y uso de coberturas, las cuales tienen como función crear condiciones que mejoren significativamente la productividad del suelo y a la vez mejoran la estructura del mismo mitigando el impacto de los agentes erosivos. Aunado a esto se tiene que son prácticas que

pueden ser adoptadas por los agricultores con mayor facilidad ya que son menos costosas y de fácil implementación pudiéndose incorporar a las prácticas cotidianas de manejo.

En general se puede concluir que la metodología de clasificación de tierras de Sheng, es más sencilla, rápida y de fácil aplicación. De allí que la información que generan sus resultado son generales. Las tierras son clasificadas según los cultivos más intensivos que pueden ser practicados en ella y las prácticas conservacionistas propuestas son igualmente muy generales. Esta metodología sería recomendable aplicarla en áreas extensas (cuencas, sub-cuencas), en estudios de Ordenamiento Territorial o Municipal o en Manejo de Cuencas, ya que sus resultados son muy eficientes a esa escala de trabajo de 1:25.000 – 1:50.000.

Por su parte la metodología de Delgado (2003), es más específica y detallada, ya que toma en cuenta otros factores adicionales como son los aspectos climáticos y las características intrínsecas del suelo, es por eso que los resultados obtenidos con esta metodología proporcionan una mayor información en cuanto a los valores de las propiedades físicas y químicas del suelo, concluyendo con la productividad del mismo. A su vez se obtiene información con relación al potencial de los suelos a los procesos de erosión, lo cual es fundamental en la planificación conservacionista del uso de la tierra, ya que permite proponer los usos y las prácticas conservacionistas apropiadas según el caso. Esta metodología sería por lo tanto la más apropiada en áreas pequeñas (microcuencas) o sectores de tratamiento, cuya escala de trabajo es menor a 1:10.000.

La selección de las prácticas por la metodología de Delgado (2003), se realizó de una manera más expedita por cuanto permitió identificar mejor las principales causas que están limitando la productividad del suelo y las que potencian el riesgo de erosión, así se tiene que las prácticas de mejoramiento del suelo (abonos verdes, abonos orgánicos, restos de cosechas, enmiendas para suelos ácidos, labranza conservacionista, entre otras) y uso de coberturas (rotación de cultivos, cultivos tolerantes, entre otras) combinadas con algunas prácticas amortiguadoras

de la velocidad de escurrimiento en ladera haría posible continuar de una manera sustentable con la actividad agrícola en el área.

Por último se recomienda aplicar dichas medidas de conservación en todos los suelos de alta montaña, ya que de alguna manera estos suelos poseen unas características similares de formación y evolución, por lo tanto se presumen son de una fragilidad muy parecida.

[www.bdigital.ula.ve](http://www.bdigital.ula.ve)

## REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Acosta, M. (1975). **Plan de manejo de la cuenca Misteque**. Ministerio de Agricultura y Cría. Dirección General de Recursos Naturales Renovables. Dirección de Conservación de Suelos y Aguas. Mérida, Venezuela.
- Aguilar, L y Aldana, F. (1988). **Potencialidad de la tierra en el estado Mérida**. Instituto de Geografía y Conservación de Recursos Naturales. Mérida, Venezuela.
- Ataroff, M y Sarmiento, L. (1998). Las unidades ecológicas de los Andes de Venezuela. En E, La Marca y P, Soriano (eds). **Reptiles de Los Andes de Venezuela**. Mérida, Venezuela.
- Blanco, J y Dávila, E. (2002). **Topoclimas y síntesis bioclimática de los Andes venezolanos y centro occidente de Venezuela**. Trabajo de grado. Escuela de Geografía. Facultad Ciencias Forestales y Ambientales. Universidad de los Andes. Mérida, Venezuela.
- Briceño, J, Manrique, J y Sánchez, J. (1995). Reconstrucción paleoecológica para el último máximo de glaciación en la cuenca del río Chama. *Memorias III Congreso Latinoamericano de Ecología*. Facultad de Ciencias. Universidad de los Andes. Mérida, Venezuela.
- Carrillo, L y Peña, G. (1964). **Planificación conservacionista de la microcuenca de la quebrada "El Royal", afluente del Chama, Estado Mérida**. Trabajo de grado. Escuela de Ingeniería Forestal. Facultad de Ciencias Forestales. Universidad de los Andes. Mérida, Venezuela.
- Castro, F. (1996). **Identificación de áreas susceptibles a la erosión hídrica a través de un SIG en la cuenca alta del río Uribante, Estado Táchira**. Trabajo de grado de maestría. Centro de Estudios Forestales y Ambientales de Postgrado. Escuela de Ingeniería Forestal. Facultad de Ciencias Forestales y Ambientales. Universidad de los Andes. Mérida, Venezuela.
- Castillo, J. (1965). **Estudio de los suelos de las partes altas de las cuencas de los ríos Chama y Santo Domingo**. Instituto de Geografía y Conservación de Recursos Naturales. Mérida, Venezuela.
- Cevallos, M. (1997). **Evaluación de métodos de estimación de riesgo de erosión de suelos y su aplicación en la planificación de alternativas de conservación de suelos en cuencas altas: caso microcuenca Zarzales-La Grande**. Trabajo de grado de maestría. Centro Interamericano de Desarrollo e Investigación Ambiental y Territorial (CIDIAT). Mérida, Venezuela.

- Delgado, F. (1990). **Prácticas agronómicas de conservación del suelo**. Serie SC N° 63. Centro Interamericano de Desarrollo e Investigación Ambiental y Territorial (CIDIAT). Mérida, Venezuela.
- Delgado, F. (1991). Impacto de la erosión en la productividad del suelo. En R, López y M, Páez (eds), **Metodología de Evaluación e Investigación de la erosión del Suelo y su Impacto en la Productividad y en el Ambiente** (pp. 137). CIDIAT. Mérida, Venezuela.
- Delgado, F. (1995). **Un índice de productividad para la evaluación de los suelos agrícolas en la región de pie de monte y llanos occidentales de Venezuela**. Trabajo de ascenso a profesor asociado. Centro Interamericano de Desarrollo e Investigación Ambiental y Territorial (CIDIAT). Mérida, Venezuela.
- Delgado, F. (1997). **Sistema para la evaluación y clasificación de tierras agrícolas y prioridades de conservación de suelos en áreas montañosas tropicales**. Serie SC N° 73. CIDIAT. Mérida, Venezuela.
- Delgado, F. (2002). **Agricultura sostenible y mejoramiento de los suelos de ladera**. Trabajo de ascenso a profesor titular. Centro Interamericano de Desarrollo e Investigación Ambiental y Territorial (CIDIAT). Mérida, Venezuela.
- Delgado, F. (2003). **Un Protocolo para apoyar la selección de prácticas de conservación de suelos en tierras montañosas tropicales**. I Seminario Internacional Agricultura de Conservación en Tierras de Laderas. Manizales, Colombia,
- Delgado, F y López, R. (1995). **Validación de un modelo erosión-productividad en suelos de Los Andes venezolanos**. *Venesuelos*, 3: 17-24.
- Delgado, F, Terrazas, R y López, R. (1998). **Planificación de la conservación de suelos en cuencas altas, utilizando relaciones erosión-productividad**. *Agronomía Tropical*, 48 (4): 395-411.
- Duque, R. (2002). **Programa ajuste a una distribución probabilística normal**. CIDIAT. Mérida, Venezuela.
- Ewel, J y Madriz, A. (1968). **Zonas de vida de Venezuela**. Edit. Sucre. Caracas, Venezuela.
- FAO. (1976). **Esquema para la evaluación de tierras**. Boletín de Suelos N° 32. Roma, Italia.
- Fernández, M y Navas, E. (1997). **Clasificación de tierras con fines agrícolas en la subcuenca del río Escuque, Estado Trujillo**. Trabajo de grado. Escuela de Geografía. Facultad Ciencias Forestales y Ambientales. Universidad de los Andes. Mérida, Venezuela.

- Ferrer, C, Amaya C, y Puig A. (1991). **Algunas características geográficas del trayecto Mérida-Pico Espejo, Estado Mérida**. *Revista Geográfica Venezolana*, 32 (1): 117-148.
- Flores, N y Manzanilla, G. (1999). **Análisis de la problemática originado por las crecidas del río Chama en la parte alta de la cuenca**. Tesis de grado. Escuela de Geografía. Facultad de Ciencias Forestales y Ambientales. Universidad de los Andes. Mérida, Venezuela.
- Flörchinger, F, Müller-Sämann, K y Leihner, D. (1996). **Effects of soil erosion on crop productivity in the southwest Colombia Andes**. ISCO Conference. Bonn, Alemania.
- González, N y Labrador, J. (1983). **Vocación de uso agrícola, Cuenca alta del Río Chama**. Trabajo de grado. Escuela de Geografía. Facultad de Ciencias Forestales y Ambientales. Universidad de los Andes. Mérida, Venezuela.
- Gutiérrez, J. (1999). **Utilización de técnicas de procesamiento digital de imágenes y sistemas de información en la determinación de los cambios en la cobertura vegetal y uso de la tierra, cuenca del río Mucujún, Estado Mérida, Venezuela**. Trabajo de grado de maestría. Centro de Estudios Forestales y Ambientales de Postgrado. Escuela de Ingeniería Forestal. Facultad de Ciencias Forestales y Ambientales. Universidad de los Andes. Mérida, Venezuela.
- Gutiérrez, J. (2001). **Modelo para la selección y priorización de áreas a reforestar en los alrededores de la ciudad de Mérida, Venezuela, utilizando sistemas de información geográfica**. Trabajo de grado de maestría. Centro de Estudios Forestales y Ambientales de Postgrado. Escuela de Ingeniería Forestal. Facultad de Ciencias Forestales y Ambientales. Universidad de los Andes. Mérida, Venezuela.
- Hernández, C (2002). **Índice de Productividad como criterio para la planificación conservacionista de las tierras bajo cultivo de piña (*Ananas comosus* (L) Merr.) en el estado Lara**. Trabajo de grado de maestría. Comisión de Estudios de Postgrado. Postgrado en Ciencias del Suelo. Facultad de Agronomía. Universidad Central de Venezuela. Maracay, Venezuela.
- Hernández, E (1987). **Manejo de cuencas. Fundamentos**. Escuela de Ingeniería Forestal. Facultad de Ciencias Forestales. Universidad de los Andes. Mérida, Venezuela.
- Hidalgo, P (1985). **Esquema metodológico de un proyecto de conservación de suelos y aguas**. Material didáctico. Centro Interamericano de Desarrollo e Investigación Ambiental y Territorial (CIDIAT). Mérida, Venezuela.

- Jégat, H. (s.f). **Introducción a la Geoestadística**. Trabajo no publicado, Centro Interamericano de Desarrollo e Investigación Ambiental y Territorial (CIDIAT). Mérida, Venezuela.
- La Marca, F. (1995). **Origen y evolución geológica de la Cordillera de Mérida. (Andes de Venezuela)**. Cuadernos de la Escuela de Geografía. Facultad Ciencias Forestales y Ambientales. Universidad de los Andes. Mérida, Venezuela.
- López, E. (1999). **Aplicación de las metodologías USLE e IRE a través de un SIG para estimar la erosión hídrica en la cuenca del Río Anaime, Departamento del Tolima, Colombia**. Trabajo de grado de maestría. Centro de Estudios Forestales y Ambientales de Postgrado. Escuela de Ingeniería Forestal. Facultad de Ciencias Forestales y Ambientales. Universidad de los Andes. Mérida, Venezuela.
- López, R. (1988). **Conservación de suelos agrícolas**. Centro Interamericano de Desarrollo e Investigación Ambiental y Territorial (CIDIAT) y Departamento de Desarrollo Regional de la Organización de los Estados Americanos (OEA). Mérida, Venezuela.
- López, R. (1991). **Erosión y productividad del suelo**. Serie SC N° 66. Centro Interamericano de Desarrollo e Investigación Ambiental y Territorial (CIDIAT). Mérida, Venezuela.
- López, R. (1994). **Factores y efectos de la erosión hídrica en suelos de Los Andes venezolanos**. Trabajo de ascenso a profesor asociado. Centro Interamericano de Desarrollo e Investigación Ambiental y Territorial (CIDIAT). Mérida, Venezuela.
- Manrique, J. (1997). **Estudio pedogenético en la cuenca alta del río Santo Domingo, Sector Los Frailes. Mérida. Venezuela**. Trabajo de grado. Escuela de Geografía. Facultad Ciencias Forestales y Ambientales. Universidad de los Andes. Mérida, Venezuela.
- Mejía, J. (2000). **Un modelo suelo paisaje para la evaluación automatizada de tierras con fines conservacionistas en cuencas altas: microcuenca del Río Zarzales. Estado Mérida**. Trabajo de grado de maestría. Centro de Estudios Forestales y Ambientales de Postgrado. Escuela de Ingeniería Forestal. Facultad de Ciencias Forestales y Ambientales. Universidad de los Andes. Mérida, Venezuela.
- Mora, S y Molina, C. (2001). **Determinación del uso potencial de la tierra bajo ambiente SIG. Cuenca alta del río Chama**. Trabajo de grado. Escuela de Geografía. Facultad Ciencias Forestales y Ambientales. Universidad de los Andes. Mérida, Venezuela.

- Moreno, J, Rodríguez, R, Díaz, J, Noguera, N y Larreal, M. (2001). ***Índice de Productividad del suelo y su relación con el cultivo de sorgo en la Baja Guajira, Municipio Páez, estado Zulia (Evaluación preliminar)***. Trabajo presentado en: XVI Congreso Venezolano de la Ciencia del Suelo. Maracaibo, Venezuela.
- Ovalles, F. (1991). ***Evaluación de la variabilidad de suelos a nivel de parcela para el establecimiento en lotes experimentales en el Estado Cojedes***. Agronomía Tropical, 44 (1-2): 5-20.
- Ovalles, F y Núñez, M. (1994). ***Métodos estadísticos para evaluar la variabilidad de suelos dentro de unidades de capacidad de uso en la depresión del lago de Valencia***. Agronomía Tropical, 44 (1): 23-40.
- Ovalles, F y Rey, J. (1994). ***Variabilidad interna de unidades de fertilidad en suelos de la depresión del lago de Valencia***. . Agronomía Tropical, 44 (1): 45-65.
- Páez, M. (1989). ***Diseño de prácticas conservacionistas con la ecuación universal de pérdida del suelo***. Serie SC N° 64. Centro Interamericano de Desarrollo e Investigación Ambiental y Territorial (CIDIAT). Mérida, Venezuela.
- Páez, M y Rodríguez, O. (1989). ***Factores de la ecuación universal de pérdida del suelo en Venezuela***. . Revista Facultad de Agronomía, 37: 21-31.
- Páez, M. (1991). Propuesta para la evaluación de la relación productividad-erosión en Venezuela. En R, López y M, Páez (eds) ***Metodología de Evaluación e Investigación de la erosión del Suelo y su Impacto en la Productividad y en el Ambiente*** (pp. 189). CIDIAT. Mérida, Venezuela.
- Páez, M. (1994). ***Clasificación de los suelos por riesgo de erosión hídrica con fines de planificación agrícola***. Revista Facultad de Agronomía, 20: 83-100.
- Plan de Ordenamiento y Reglamento de Uso del Parque Nacional Sierra Nevada (Decreto No. 2.335) (1992, Junio 05). Gaceta Oficial de la República de Venezuela, 4.548 (Extraordinario), Marzo 26, 1993.
- Quiñónez, E. (1997). ***Distribución espacial de riesgo de degradación de suelos en el Estado Mérida, aplicación de un SIG***. Trabajo de grado de maestría. Centro Interamericano de Desarrollo e Investigación Ambiental y Territorial (CIDIAT). Mérida, Venezuela.
- Rey, J. (1996). ***Estimaciones de los cambios espaciales en delineaciones de una misma unidad cartográfica basada en información existente de mapas de estudios convencionales***. UCV. Facultad de Agronomía. Postgrado en Ciencias del Suelo. Maracay, Venezuela.

- Rivas, S. (2001). ***Clasificación de tierras en función de la captación de agua de los suelos. Microcuencas Aguas Regadas y la Capellanía, Municipio Pueblo Llano, Estado Mérida. Venezuela.*** Trabajo de grado. Escuela de Geografía. Facultad Ciencias Forestales y Ambientales. Universidad de los Andes. Mérida, Venezuela.
- Salinas, M. (1998). ***Diagnóstico preliminar de microcuencas y clasificación de tierras de la microcuenca quebrada la Fria, municipio Santos Marquina Estado Mérida.*** Trabajo de grado. Escuela de Geografía. Facultad Ciencias Forestales y Ambientales. Universidad de los Andes. Mérida, Venezuela.
- Schubert, C. (1980). Aspectos Geológicos de los Andes venezolanos: historia, breve síntesis, el cuaternario y bibliografía. En M, ***Monasterios (ed) Estudios ecológicos en los páramos andinos*** (pp. 29-46). Universidad de los Andes. Mérida, Venezuela.
- Sheng, T. (1971). ***A treatment oriented land capability classification scheme (for hilly marginal lands in the humid tropics).*** Latin American Watershed Management Seminar. La Plata, Argentina.
- Sosa, J. (1999). ***Génesis y distribución de los suelos en la cuenca alta del Río Santo Domingo. Sector Mucubaji Estado Mérida. Venezuela.*** Trabajo de grado. Escuela de Geografía. Facultad Ciencias Forestales y Ambientales. Universidad de los Andes. Mérida, Venezuela.
- Terrazas, R. (1996). ***Evaluación de las relaciones erosión-productividad de suelos, como criterio para la panificación conservacionista del suelo de la tierra en cuenca alta. Caso: microcuenca Zarzales – La Grande, Estado Mérida- Venezuela.*** Trabajo de grado de maestría. Centro Interamericano de Desarrollo e Investigación Ambiental y Territorial (CIDIAT). Mérida, Venezuela.
- Testamarck, J, O, Quijada, A, Bellizzia y G, Márquez. (1991). ***Informe final del levantamiento geológico de las líneas sísmicas del Flanco Nor-Andino.*** Informe interno de Maraven S.A. Inédito. Caracas, Venezuela.
- Tukey, J. (1977). ***Exploratory data analysis.*** Addison-Wesley Publishing Co., Reading, MA.
- Ureña, M. (1999). ***Determinación de áreas susceptibles a erosión hídrica en la microcuenca hidrográfica tropical del río Navarrito, Cartago. Costa Rica.*** Trabajo de grado. Escuela de Geografía. Facultad Ciencias Sociales. Universidad de Costa Rica. San José, Costa Rica.
- Vega, C. (1978). ***Evaluación de un sistema de riego por aspersión y estudio de escorrentía y erosión en el área de Mistequé, Mucuchies- Estado Mérida.*** Trabajo de grado de maestría. Centro Interamericano de Desarrollo e Investigación Ambiental y Territorial (CIDIAT). Mérida, Venezuela.

Velásquez, J. (1997). ***Génesis y distribución de los suelos en la cuenca media-baja del río Santo Domingo. Estado Barinas. Venezuela.*** Trabajo de grado. Escuela de Geografía. Facultad Ciencias Forestales y Ambientales. Universidad de los Andes. Mérida, Venezuela.

Vílchez, J. (2000). ***Introducción a los sistemas de información geoespacial.*** Mérida, Venezuela: Universidad de los Andes, Consejo de Desarrollo Científico, Humanístico y Tecnológico.

Zambrano, O. (1999). ***Estudio integral del uso de la tierra con fines conservacionistas de las subcuencas de los ríos Frío, Chimomó y Guachizón, Municipio Caracciolo Parra y Olmedo, Estado Mérida.*** Trabajo de grado. Escuela de geografía. Facultad Ciencias Forestales y Ambientales. Universidad de los Andes. Mérida, Venezuela.

[www.bdigital.ula.ve](http://www.bdigital.ula.ve)

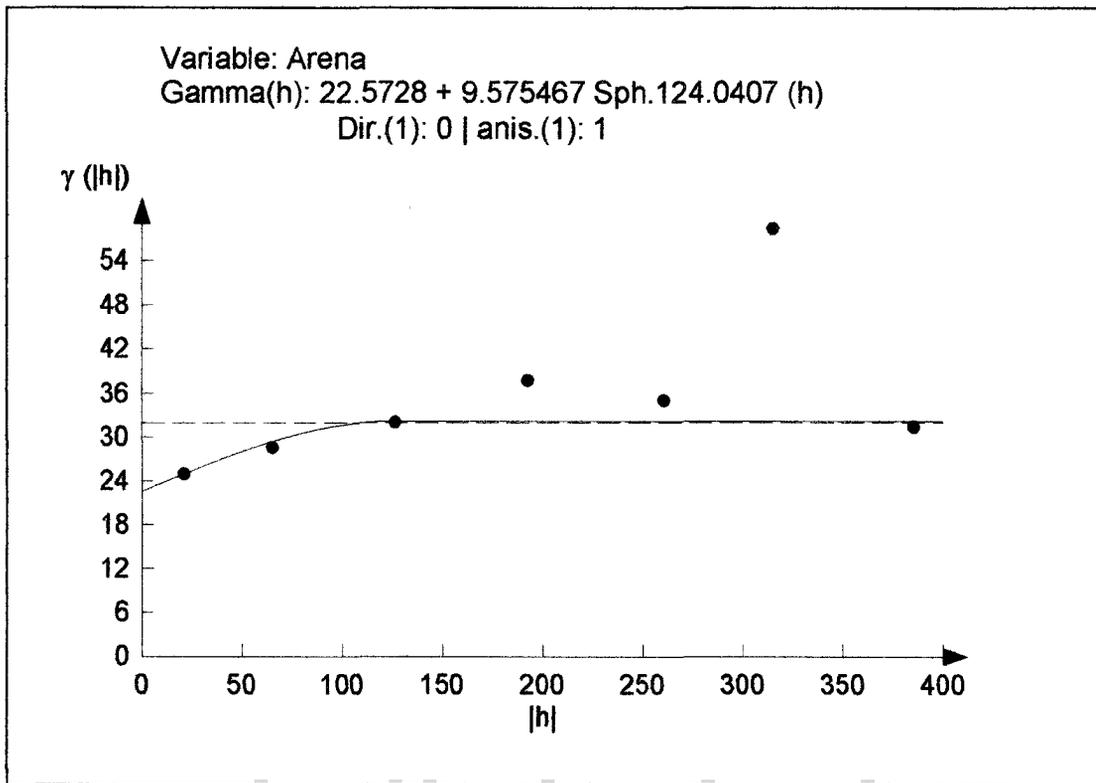
## **APENDICES**

[www.bdigital.ula.ve](http://www.bdigital.ula.ve)

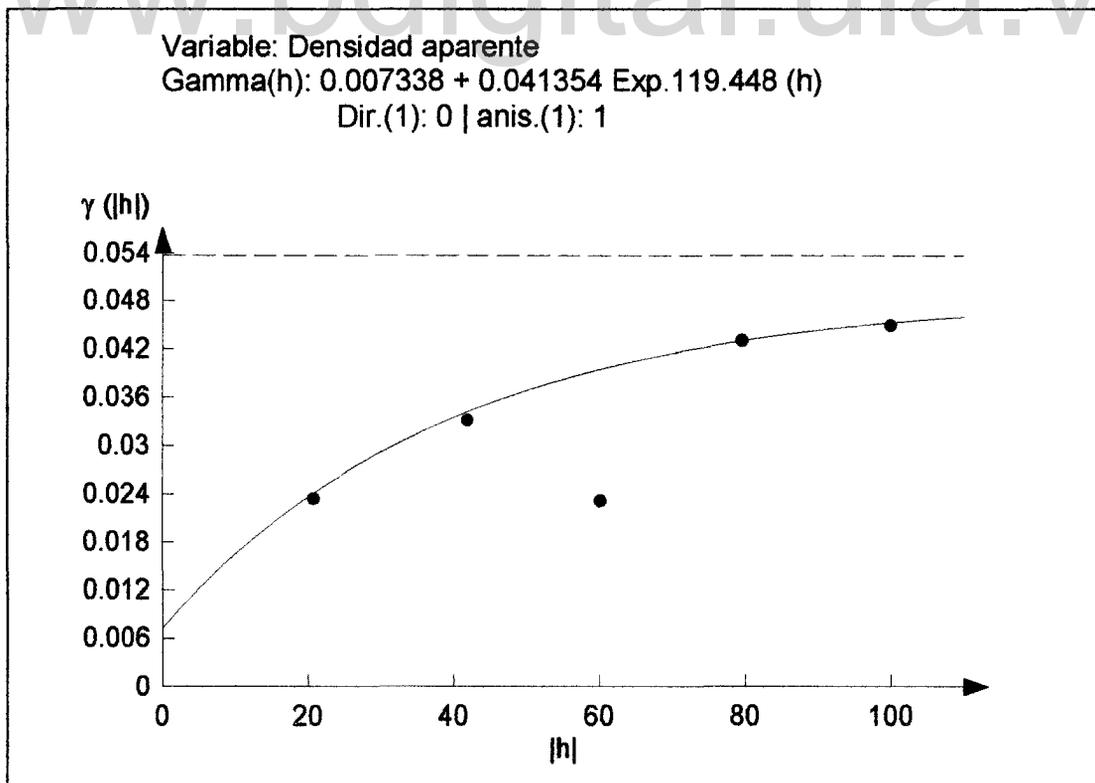
## **APENDICE A**

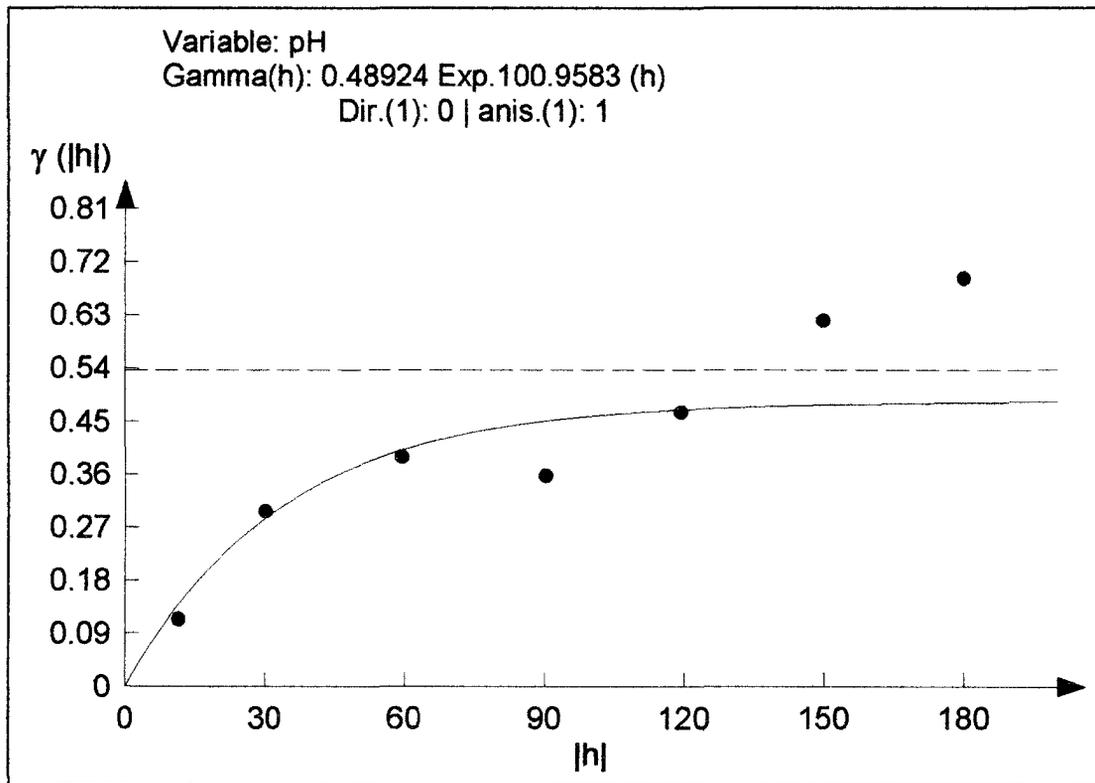
Semivariogramas ajustados a modelos teóricos de las  
variables estudiadas.

[www.bdigital.ula.ve](http://www.bdigital.ula.ve)

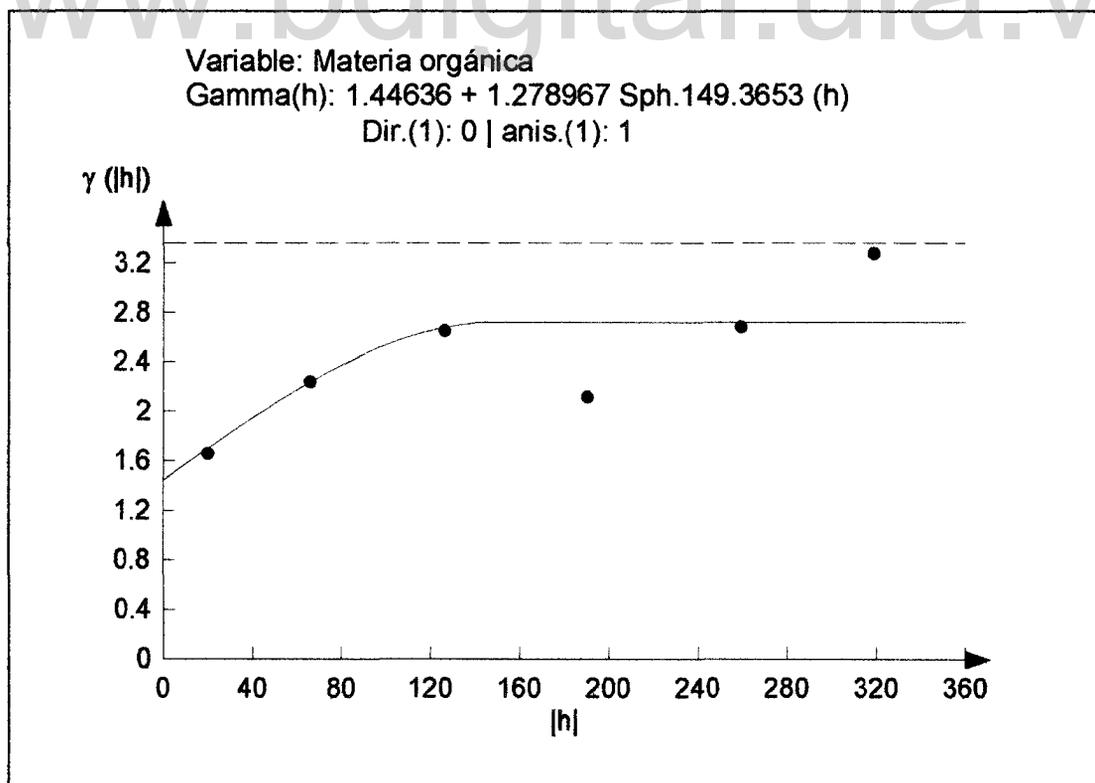


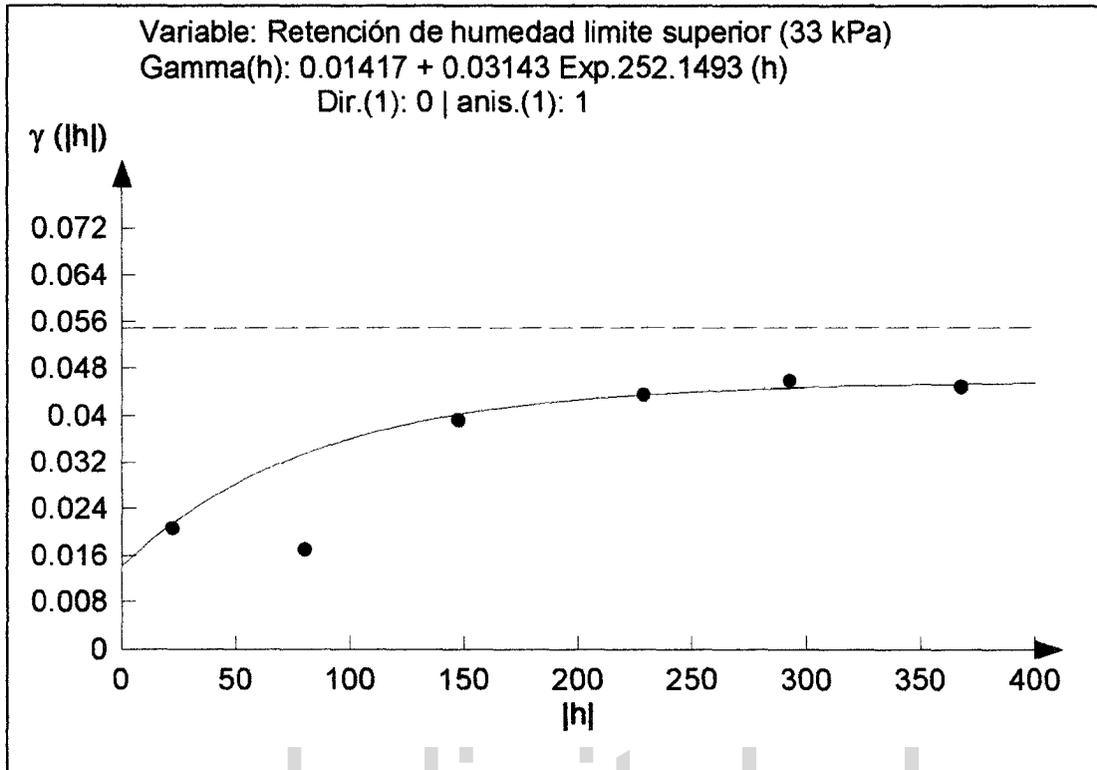
www.bdigital.ula.ve



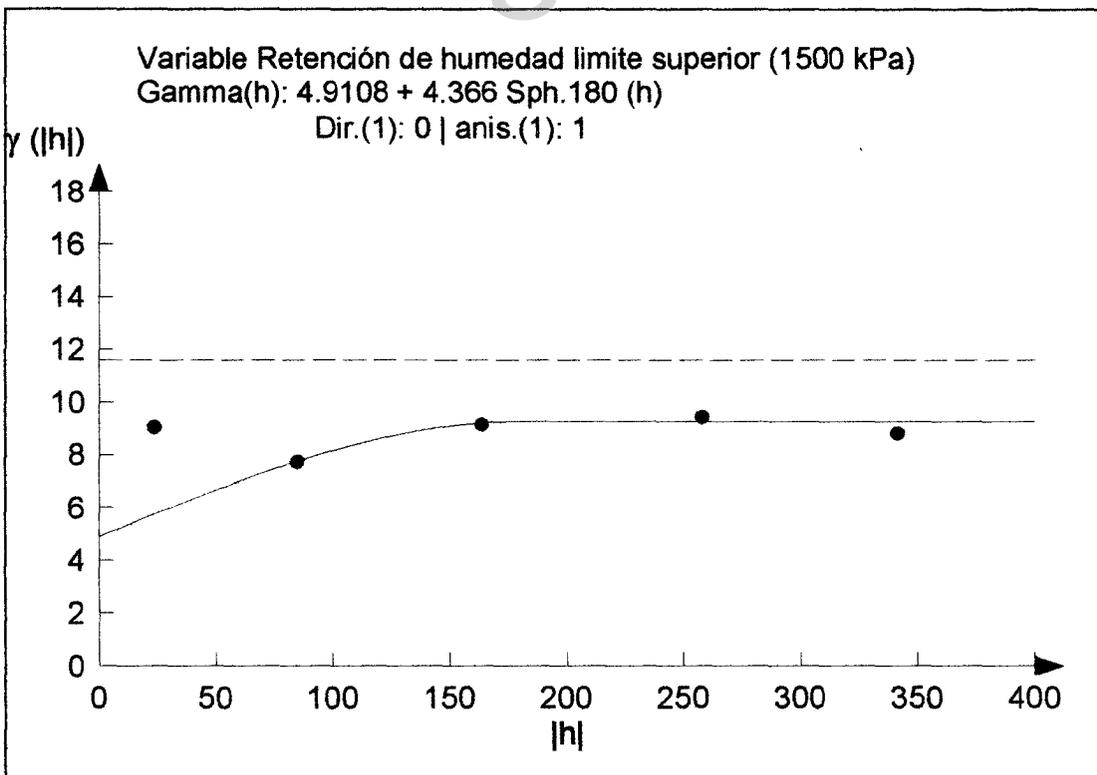


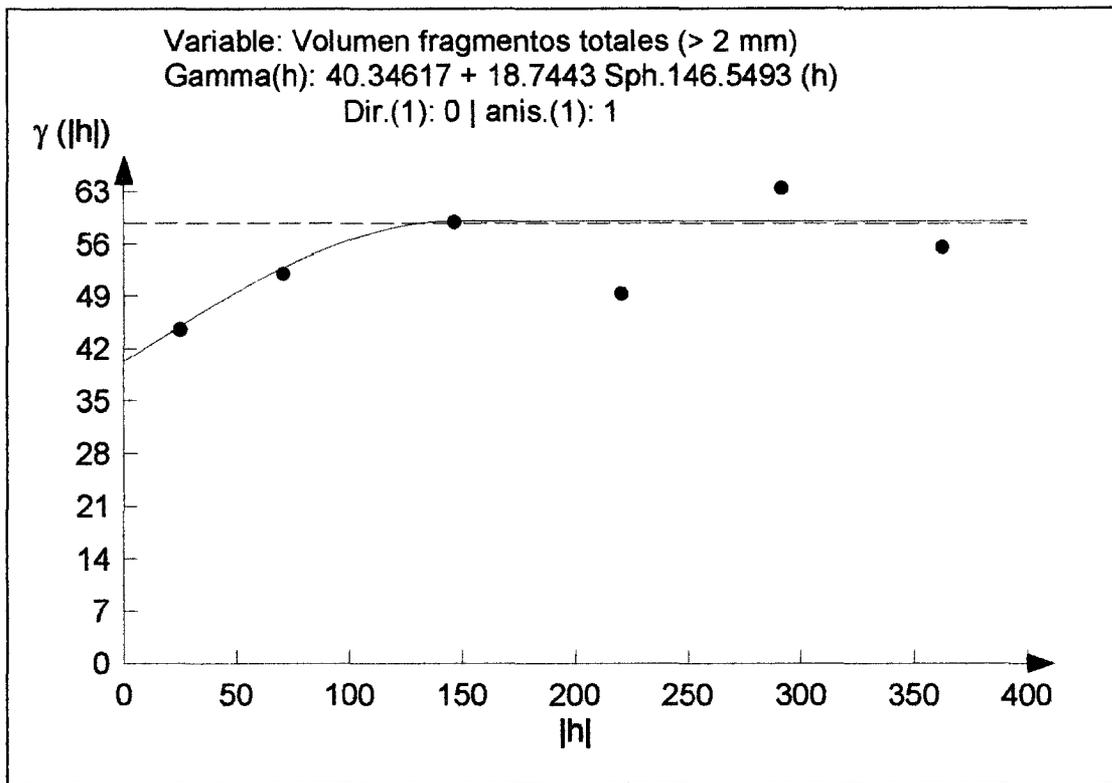
www.bdigital.ula.ve



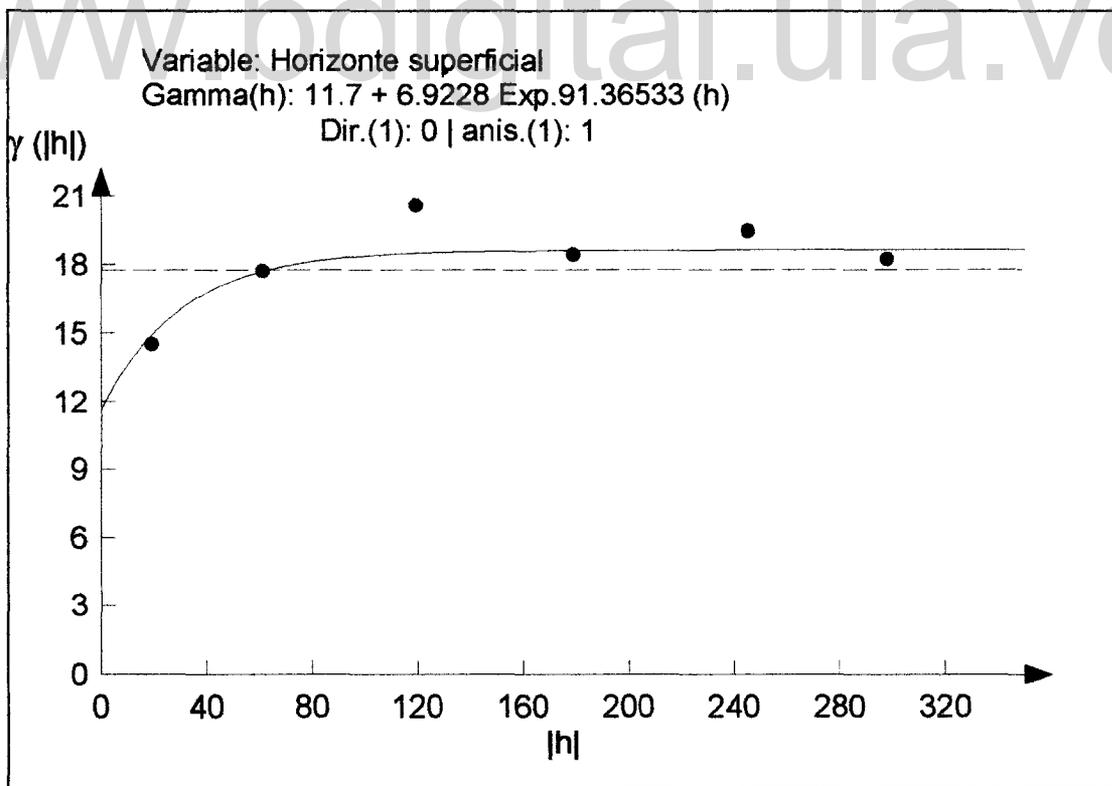


www.bdigital.ula.ve





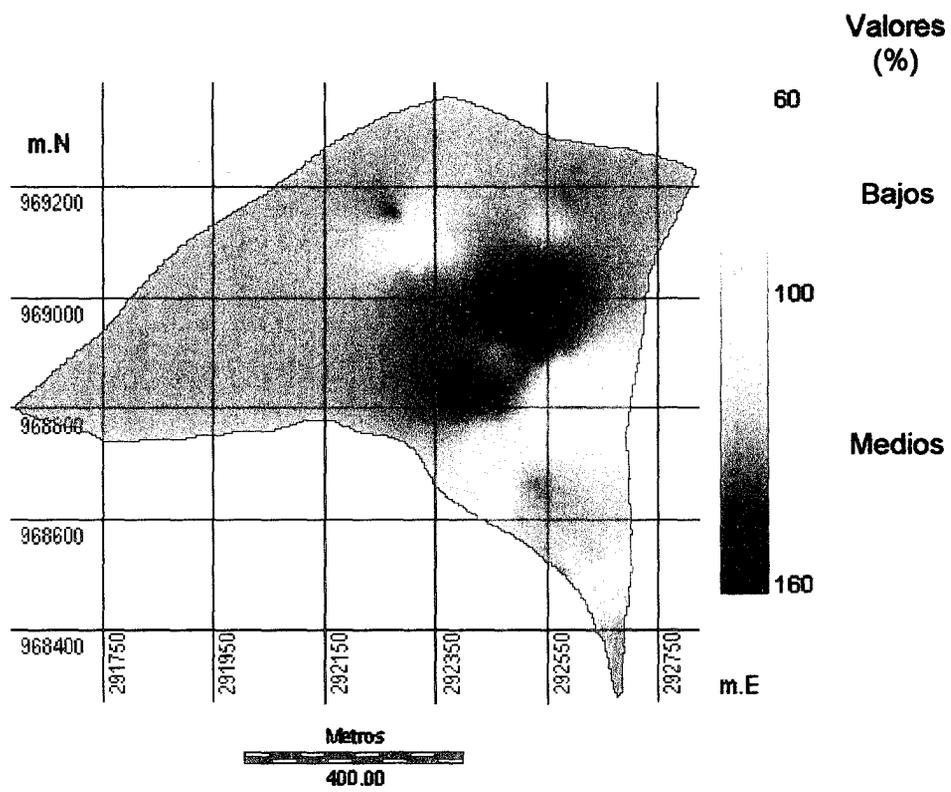
www.bdigital.ula.ve



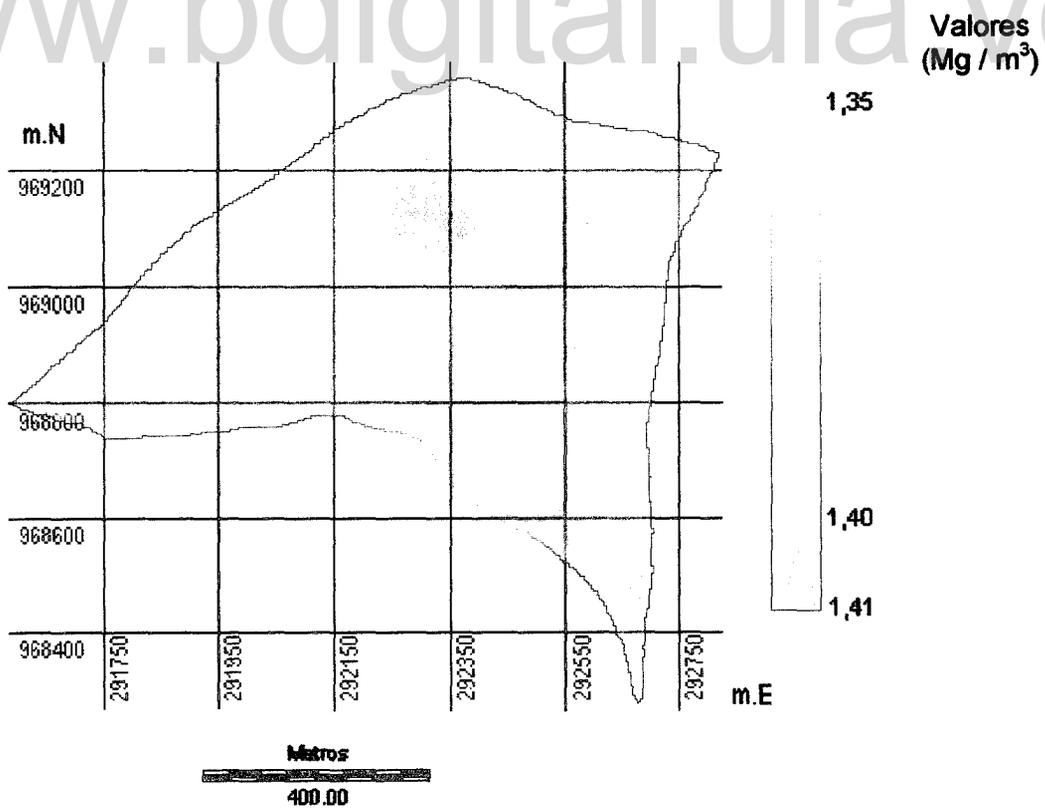
## **APENDICE B**

Figuras de la distribución espacial de las variables utilizadas en la obtención de los factores de los Índices de Productividad del Suelo y Riesgo de Erosión.

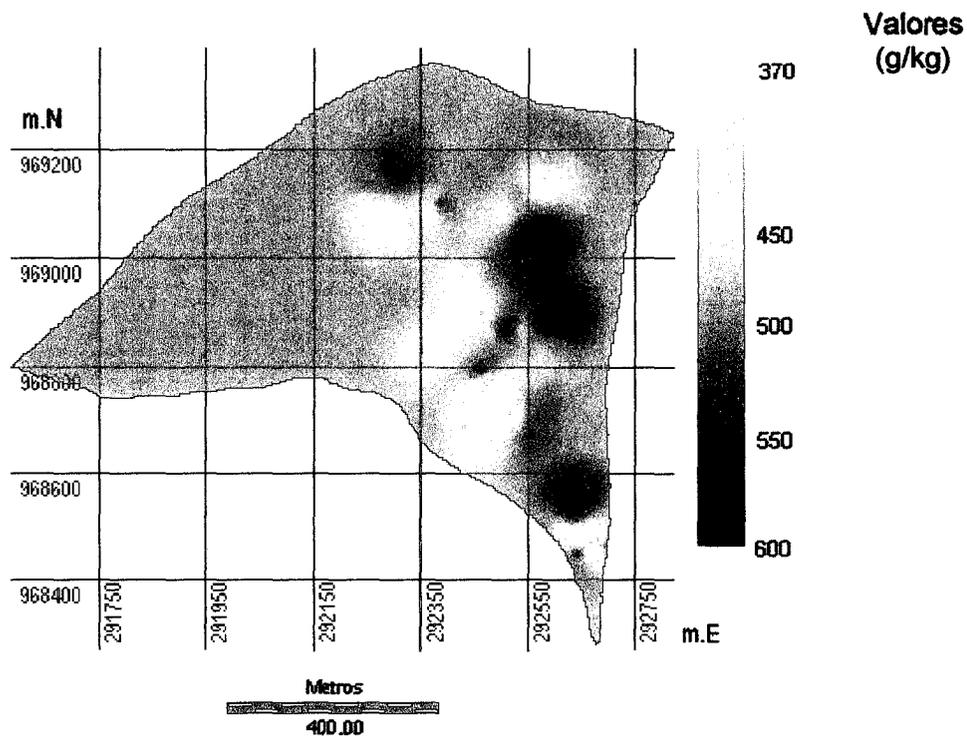
[www.bdigital.ula.ve](http://www.bdigital.ula.ve)



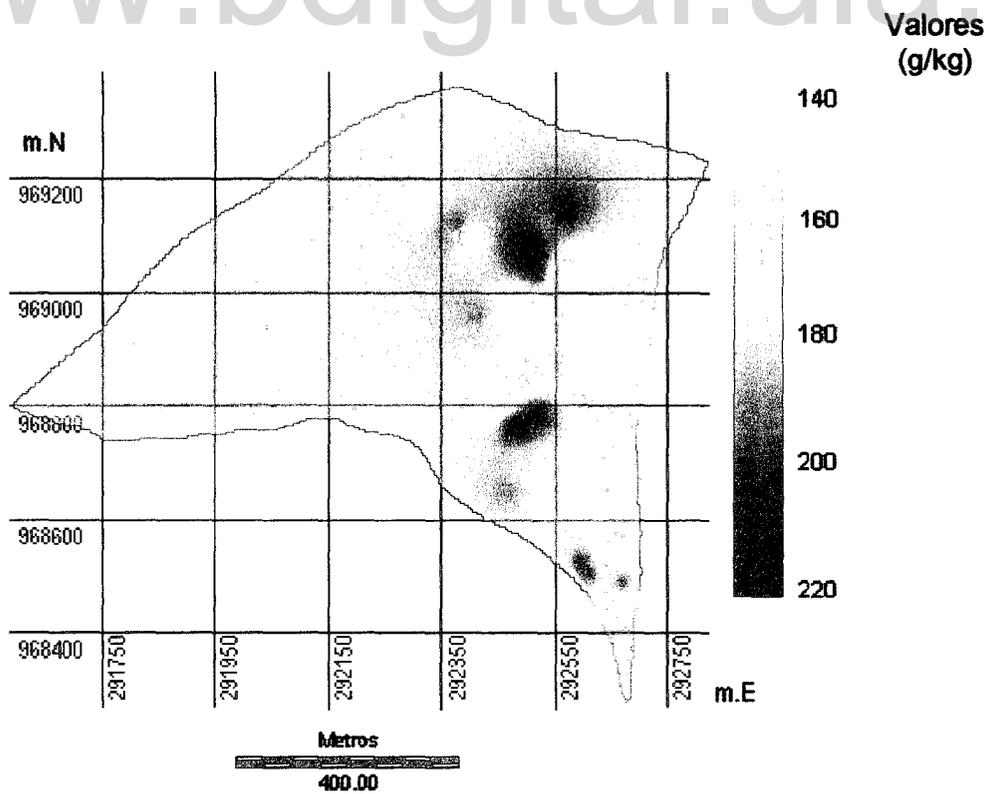
Distribución del Contenido de agua útil, Cono El Royal.



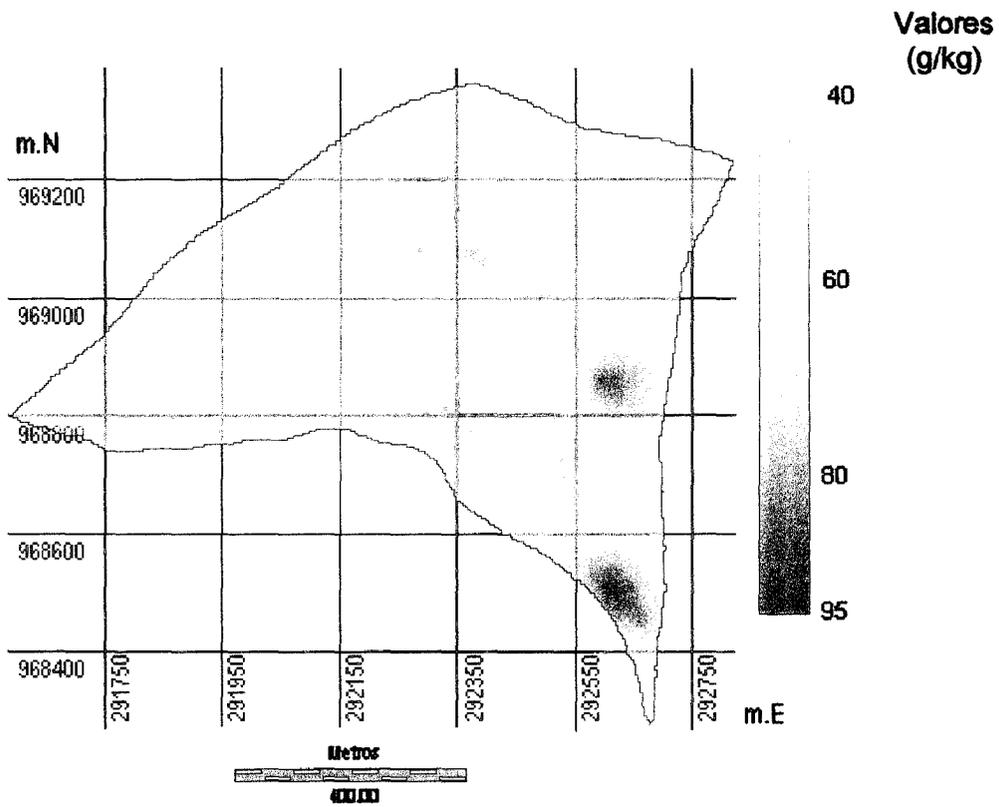
Distribución de la variable Densidad aparente, Cono El Royal.



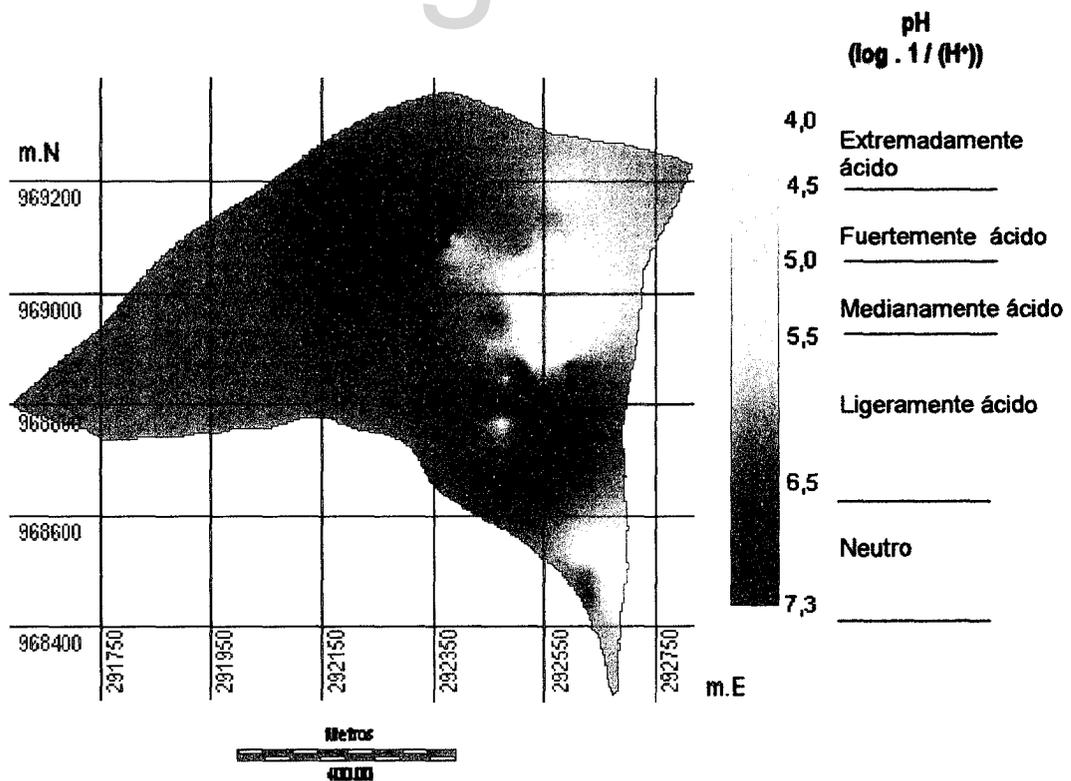
Distribución de la variable arena, Cono El Royal.



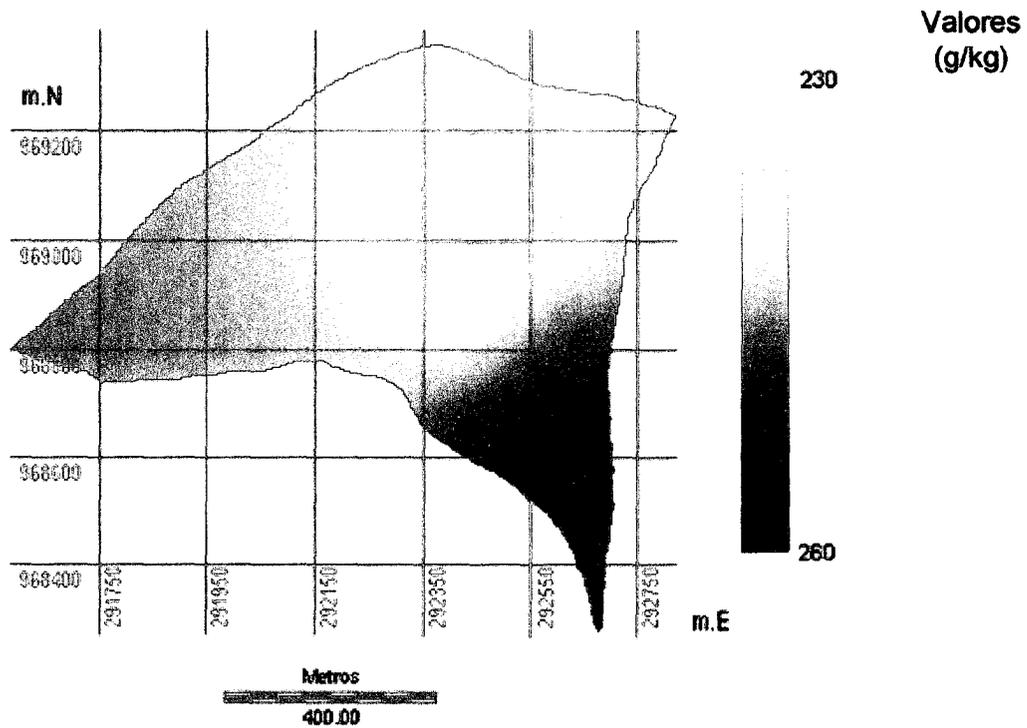
Distribución de la variable arcilla, Cono El Royal.



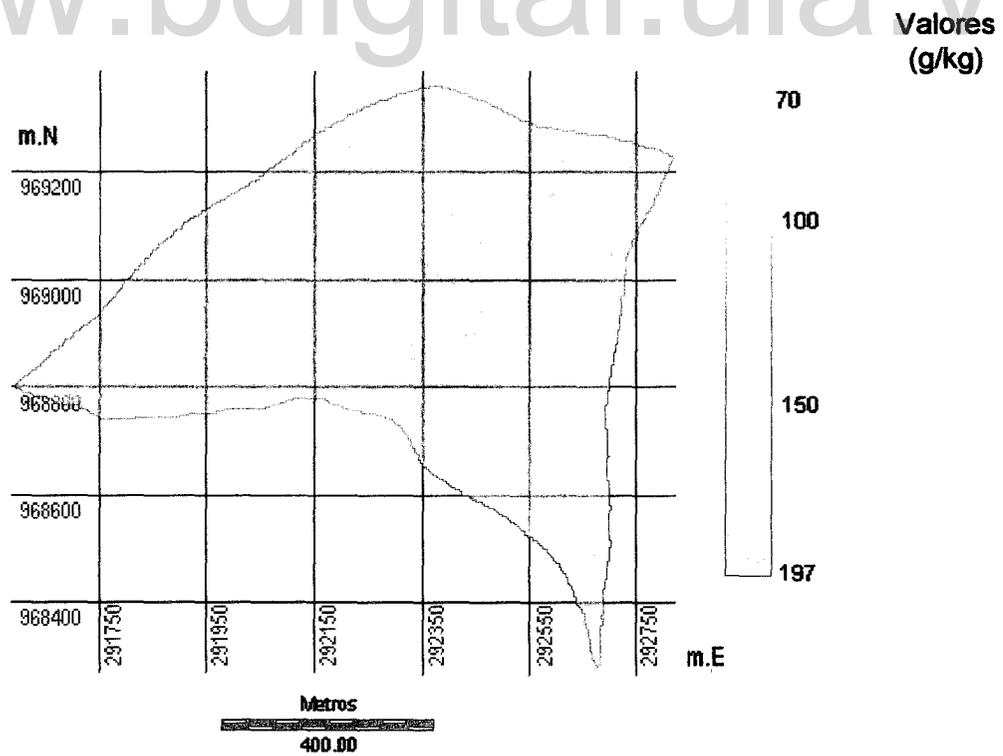
Distribución de la variable Materia orgánica, Cono El Royal.



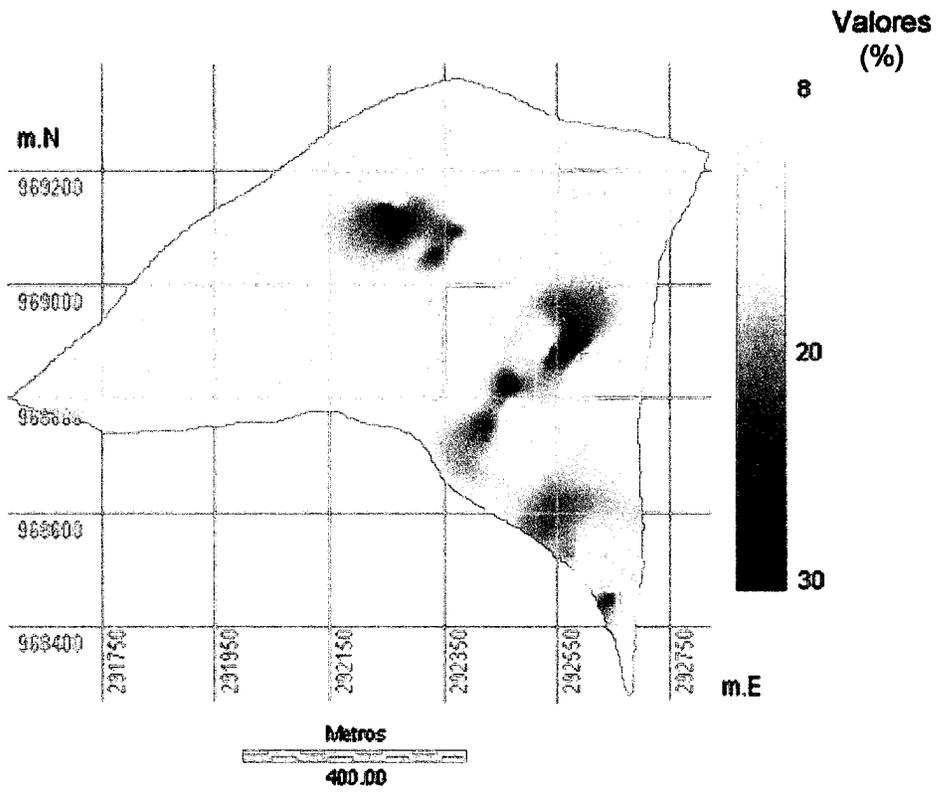
Distribución de la variable pH, Cono El Royal.



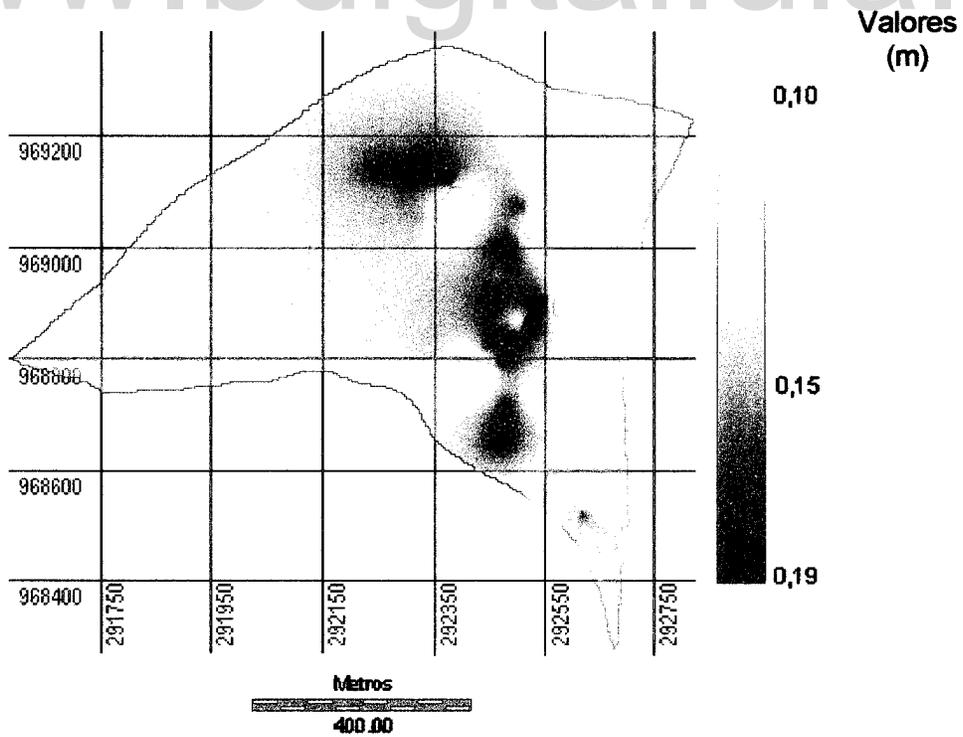
Distribución de la variable Límite superior de agua útil, Cono El Royal



Distribución de la variable Límite inferior de agua útil, Cono El Royal.



Distribución de la variable fragmentos mayores a 2 mm, Cono El Royal.



Distribución de la variable horizonte superficial, Cono El Royal.