

**CENTRO AGRONOMICO TROPICAL DE INVESTIGACION Y ENSEÑANZA**

**CATIE**

**PROGRAMA DE ENSEÑANZA**

**AREA DE POSTGRADO**

**IDENTIFICACION DE AREAS CRITICAS PARA EL MANEJO DE UN SECTOR  
DE LA CUENCA DEL RIO PACUARE, COSTA RICA**

**Tesis sometida a la consideración del Comité Técnico de Posgrado y Capacitación del  
Programa de Enseñanza en Ciencias Agrícolas y Recursos Naturales del Centro  
Agronómico Tropical de Investigación y Enseñanza, para optar el grado de:**

**Magister Scientiae**

**Por**

**Fernando Saenz Segura**

**Turrialba, Costa Rica**

**1995**

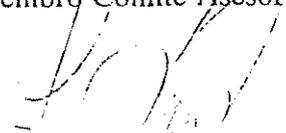
Esta tesis ha sido aceptada en su presente forma, por la Jefatura del Area de Postgrado en Ciencias Agrícolas y Recursos Naturales del CATIE y aprobada por el Comité Asesor del estudiante como requisito parcial para optar al grado de:

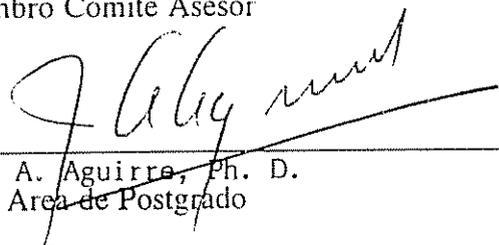
*Ciencias Agropecuarias*  
**MAGISTER SCIENTIAE**

**FIRMANTES:**

  
\_\_\_\_\_  
Steven D. Shultz, Ph. D.  
Profesor Consejero

  
\_\_\_\_\_  
Sergio Velázquez, M. Sc.  
Miembro Comité Asesor

  
\_\_\_\_\_  
José Vi-Ha, M. Sc.  
Miembro Comité Asesor

  
\_\_\_\_\_  
Juan A. Aguirre, Ph. D.  
Jefe, Area de Postgrado

  
\_\_\_\_\_  
Pedro Ferreira, Ph. D.  
Director, Programa de Enseñanza

  
\_\_\_\_\_  
Fernando Saenz Segura  
Candidato

## **BIOGRAFIA**

El autor nació el 17 de setiembre de 1966 en San José, Costa Rica y realizó sus estudios primarios y secundarios en dicha ciudad.

El 31 de octubre de 1990 se gradúa con honores en la Universidad de Costa Rica, obteniendo el grado de Licenciado en Ingeniería Agronómica, con énfasis en Economía Agrícola.

Durante cuatro años se dedica a brindar asesorías a diferentes grupos privados, involucrados en diferentes actividades de producción agropecuaria.

Debido un fuerte interés en la investigación y manejo de los recursos naturales, ingresa en 1994 al programa de maestría del Centro Agronómico de Investigación y Enseñanza (CATIE), egresando dos años después con el grado de máster en Manejo de Cuencas Hidrográficas, del Programa de Recursos Naturales Renovables de dicho centro.

## **DEDICATORIA**

*"Dedico este esfuerzo a todos aquellos que estuvieron siempre junto a mí, en los buenos momentos y en los malos. Aquellos quienes siempre me brindaron su apoyo, su compañía, su amistad y su lealtad. Aquellos con quienes siempre pude contar".*

*"Los cobardes se mueren varias veces antes de que su vida llegue a su fin. Los valientes disfrutan de la muerte una única vez".*

**JULIO CESAR (W. SHAKESPEARE)**

## **AGRADECIMIENTOS**

Quiero expresar mi agradecimiento especial a mis padres por ser mis padres.

A Jorge y a Gustavo por ser mis compañeros y amigos.

A Glenn por su amistad y por su invaluable ayuda. Sin él este estudio se habría demorado más tiempo.

A Gregory por sus oportunos consejos.

A mi comité asesor por su ayuda.

A todos los demás que no he mencionado, pero que de una u otra forma contribuyeron en el buen desarrollo de este trabajo de investigación.

A todos ustedes, muchas gracias!.

## **CONTENIDO**

1	INTRODUCCION.....	15
1.1	Objetivos.....	17
1.1.1	Objetivo Principal.....	17
1.1.2	Objetivos específicos.....	17
1.2	Hipótesis.....	18
2	ANTECEDENTES.....	19
2.1	Definición de cuenca hidrográfica.....	19
2.2	La utilización de las cuencas en el desarrollo del hombre.....	21
2.3	El manejo de cuencas hidrográficas y su papel en el manejo racional de los recursos naturales.....	23
2.4	Uso de la tierra, planificación y áreas críticas.....	25
2.5	El uso del Sistema de Información geográfica (SIG) para identificar áreas críticas.....	27
2.5.1	Definición de lo que es un SIG.....	27
2.5.2	Formato de presentación de los datos en un SIG.....	29
2.5.3	Aplicaciones de los SIG en el manejo de recursos naturales.....	30
2.6	Antecedentes metodológicos en la identificación de áreas críticas utilizando SIG.....	32
2.7	Descripción general del área de estudio.....	36
2.7.1	Localización geográfica y características físicas.....	36
2.7.2	Caracterización biológica.....	38
2.7.3	Caracterización socioeconómica.....	40

2.8	Justificaciones para la selección de este sector de la cuenca.....	45
3.	METODOS Y MATERIALES.....	46
3.1	Descripción general de la metodología utilizada.....	46
3.2	Metodología para identificar los estados erosivos presentes en la zona de estudio.....	49
3.2.1	Identificación de los grados de protección al suelo.....	49
3.2.2	Identificación del potencial erosivo.....	61
3.2.3	Identificación de los estados erosivos presentes.....	68
3.3	Metodología para identificar los conflictos de uso..	69
3.4	Metodología para determinar los riesgos de degradación.....	74
3.5	Metodología para obtener información socioeconómica del área de estudio.....	75
3.5.1	La problemática de la información catastral.....	76
3.5.2	La problemática del valor de la tierra.....	79
3.5.3	Recolección de la información socioeconómica.....	80
3.6	Metodología para integrar la información biofísica con la socioeconómica.....	83
3.7	Materiales.....	86
3.7.1	Fuentes de información.....	86
3.7.2	Equipo.....	87

4	DISCUSION DE RESULTADOS.....	88
4.1	Identificación de los estados erosivos.....	89
4.1.1	Identificación de los grados de protección al suelo.....	89
4.1.2	Identificación del potencial erosivo.....	102
4.1.3	Mapa digital de los estados erosivos presentes.....	112
4.2	Identificación de los conflictos de uso.....	115
4.2.1	Mapa digital de la capacidad de uso.....	115
4.2.2	Conflictos de uso.....	120
4.3	Mapa de riesgos de degradación.....	123
4.4	Determinación de la tenencia y el valor de la tierra.....	126
4.5	Integración de los datos biofísicos con los socioeconómicos.....	129
5	CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....	134
5.1	Conclusiones del presente trabajo de investigación.....	134
5.2	Recomendaciones generales.....	138
6	BIBLIOGRAFIA.....	141

## INDICE DE CUADROS

Cuadro 1:	Asignación de índices de protección al suelo según el tipo de cobertura vegetal.....	61
Cuadro 2:	Caracterización litológica.....	63
Cuadro 3:	Rangos de pendientes.....	65
Cuadro 4:	Niveles de erodabilidad (potencial erosivo o riesgo).....	68
Cuadro 5:	Identificación de los estados erosivos presentes.....	69
Cuadro 6:	Categorías de capacidad de uso.....	72
Cuadro 7:	Matriz de conflictos de uso.....	73
Cuadro 8:	Riesgos de degradación en la zona de estudio.....	74
Cuadro 9:	Encuesta de producción, tenencia y valoración de la tierra.....	82
Cuadro 10:	Categorías de distribución de áreas críticas.....	85
Cuadro 11:	Niveles de protección al suelo dados por la cobertura vegetal.....	97
Cuadro 12:	Uso actual de la tierra en la zona de estudio.....	98
Cuadro 13:	Distribución litológica en el área de estudio.....	102
Cuadro 14:	Distribución de los rangos de pendientes.....	107
Cuadro 15:	Distribución del potencial erosivo.....	109
Cuadro 16:	Identificación de los estados erosivos presentes.....	112
Cuadro 17:	Capacidad de uso de la tierra.....	117

Cuadro 18:	Conflictos de uso en la zona de estudio.....	120
Cuadro 19:	Riesgos de degradación presentes.....	123
Cuadro 20:	Características de las fincas medianas y pequeñas.....	126
Cuadro 21:	Características de las fincas grandes.....	127
Cuadro 22:	Distribución del nivel medio de riesgo por tipo de propiedad.....	129
Cuadro 23:	Distribución del nivel alto de riesgo por tipo de propiedad.....	130

## INDICE DE FIGURAS

Figura 1: Ubicación de la cuenca del río Pacuare.....	37
Figura 2: Cuenca del río Pacuare.....	44
Figura 3: Diagrama del proceso metodológico empleado y del análisis espacial.....	48
Figura 4: Tipos de cobertura vegetal.....	59
Figura 5: Formaciones geológicas.....	62
Figura 6: Grado de protección al suelo.....	100
Figura 7: Uso actual de la tierra.....	101
Figura 8: Unidades litológicas.....	105
Figura 9: Rangos de pendientes.....	108
Figura 10: Niveles de erodabilidad.....	111
Figura 11: Estados erosivos presentes.....	114
Figura 12: Capacidad de uso de la tierra.....	119
Figura 13: Conflictos de uso.....	122
Figura 14: Riesgos de degradación.....	125
Figura 15: Areas críticas y propiedades.....	133

SAENZ SEGURA, FERNANDO. 1995. Identificación de áreas críticas para el manejo de un sector de la cuenca del río Pacuare, Costa Rica. Tesis Mag. Sc. Turrialba, C.R. 119p.

**Palabras claves:** Areas críticas; cuencas hidrográficas; planificación; uso de la tierra; sistemas de información geográfica; análisis espacial.

---

### RESUMEN

A pesar de que la cuenca del río Pacuare es poco intervenida (poca penetración humana), se presentan actividades agropecuarias en laderas, que ya están causando degradación de los recursos naturales. Este río es uno de los pocos en Costa Rica, que aún conservan sus aguas limpias y claras. Además de su belleza escénica y su gran potencial hidráulico, es casi el único que se ubica muy cerca de centros importantes de población, lo cual facilita su acceso.

Debido a esto es necesario pensar en formas de revertir (o atenuar al menos) las causas de esta degradación. Este proceso debe de empezar por una identificación de áreas problemáticas, o áreas críticas. También se debe definir en función de que son críticas en la cuenca; bajo que contexto socioeconómico; y por qué.

La importancia de este estudio radica en que propone una nueva metodología, para identificar áreas críticas de forma rápida; utilizando un sistema de información geográfica como herramienta clave, con el cual se procesó y se analizó espacialmente toda la información primaria de campo, e información secundaria obtenida. La metodología tiene un carácter básicamente cualitativo, e integra espacialmente datos biofísicos con datos socioeconómicos. Esta metodología ha sido adaptada a las condiciones tropicales del río Pacuare.

Las fuentes de información utilizadas se clasifican en dos tipos: físicas y digitales. Dentro de las primeras se tienen mapas a escala 1:50.000 del IGN; fotografías aéreas; y una encuesta de campo. Dentro de las segundas se tiene un modelo de elevación digital y un mapa de formaciones geológicas.

Del proceso de las anteriores fuentes de información se obruvieron las siguientes variables:

- **Biofísicas:** Capacidad de uso de la tierra; uso actual de la tierra; grados de protección al suelo producidos por la cobertura vegetal; potencial erosivo; estados erosivos; conflictos de uso; riesgos de degradación.
  
- **Socioeconómicos:** Tipo de explotación, tenencia de la tierra, ubicación y valor de la propiedad.

El análisis espacial de la variables biofísicas encontró que el 86% de la cuenca tiene un nivel bajo de riesgo, o ningún riesgo de degradación; mientras que un 10.31% tiene desde un nivel medio de riesgo, hasta un nivel alto. Esta últimas áreas son las consideradas como críticas.

Al integrar espacialmente los datos socioeconómicos se tiene que la distribución del nivel medio de riesgo representa, el piso crítico presente en la mayoría de los estatus posesorios de la cuenca.

En las fincas pequeñas y medianas el nivel alto de criticidad vendría por la mayor diversidad de actividades (más intensidad de labores en menos área). En las fincas grandes la principal causa de la alta criticidad es la ganadería extensiva no tecnificada, que expone grandes áreas de potreros a los factores climáticos y al pisoteo del ganado.

En términos generales, este nuevo diseño metodológico fue suficiente para identificar diferentes niveles de riesgo de degradación, como características cualitativas indicadoras de criticidad. Sin embargo, el objetivo de hacer un estudio de tenencia, uso y valoración de la tierra se cumplió sólo parcialmente. La información obtenida no es suficiente para caracterizar completamente el área y sólo permite una idea muy general de lo tipos de explotaciones presentes.

SAENZ SEGURA, FERNANDO. 1995. Identification of critical areas for the management in a pilot area of Pacuare watershed, Costa Rica. Thesis Mag. Sc. Turrialba, C.R. 121p.

**Keywords:** Critical areas; river basin; land planning; land use; geographical information system; spatial analysis.

---

### SUMMARY

The Pacuare river basin has received only limited human intervention yet the intrusion of hillside agriculture and cattle grazing activities are beginning. Such human based activities can result in the destruction of the natural resource base. This river is one of the few in Costa Rica that has clean and pristine waters. In addition to having beautiful scenic views and great potential for hydroelectric generation, the river is close to important urban centers.

For these reasons it is necessary to find ways for revert the causes of natural resources degradatoin. This process should begin with the identification of the critical areas, the determination of the reasons for what they are critical areas, and the identification of the social and economic factors influencing the critical areas.

The present study uses a new methodology to quickly and efficiently identify critical areas through the use of a geographical information system (GIS) to process and spatially analyze both primary and secondary information. The methodology is qualitative, and it has been adapted for tropical conditions.

The sources of information are classified in two types: Physical datums ("hard copies") and digital datums. The first group includes maps of the National Geographic Institute of Costa Rica (scale 1:50,000); aerial photographs; and a field survey. The second group includes a digital elevation model (DEM) and a geological digital map.

Applying different GIS methods the following variables were obtained:

- **Biophysical variables:** Land use aptitude; actual land use; soil protection levels; potential of erosion; states of erosion; land use conflicts; degradation risks.
- **Socioeconomics variables:** Type of farm production; land tenure; farm locations; and land values.

The spatial analysis of biophysical variables found that the 86% of the watershed has a low risk of degradation; while the 10% has a medium or high degradation risk.

Among small and medium farms, high risk or critical land use areas are a result of extensive cattle raising production, which exposes great areas of pastures to soil compaction and/or erosion.

This new methodology was sufficient to identify different degradation levels, and critical areas. However, the objective of incorporating land production, land tenure and value data into the critical area identification process was only partially achieved in that the data obtained in the survey was not satisfactory to make a complete characterization of the watershed.

## CAPITULO 1

### INTRODUCCION

Durante las últimas décadas los países Latinoamericanos centraron su crecimiento económico, en la expansión de la frontera agropecuaria. El crecimiento de este sector se basó en el uso cada vez más creciente de tres recursos: suelo, agua y bosque. La variable disponibilidad y calidad de dichos recursos determinaban la productividad de las nuevas zonas de producción. Sin embargo este modelo de crecimiento dejó impactos muy negativos, pues dependía únicamente del uso de los recursos naturales y no a cambios tecnológicos.

En Centroamérica el 60% de las actividades agropecuarias se realizan en terrenos de laderas y más del 50% de los bosques se encuentran en zonas montañosas (Lindarte, et al. 1993). Como consecuencia de un mal manejo de los recursos naturales, se estima que más de un 40% de la cobertura boscosa de Centroamérica ha sido cortada desde 1950; y que en algunas áreas el 90% de ese bosque se quemó, o bien se dejó que se pudriera (USAID. 1989).

Por esta razón es común encontrar cuencas hidrográficas en Centroamérica, con niveles crecientes de deterioro o degradación de su base de recursos naturales; lo que genera una situación considerada como crítica en todos los países de la región, incluyendo a Costa Rica.

A pesar de que la cuenca del río Pacuare es poco intervenida (poca penetración humana), se presentan actividades agropecuarias en laderas, que ya están causando degradación de los recursos naturales. Este río es uno de los pocos en Costa Rica que aún conservan sus aguas limpias y claras. Además, es casi el único que se ubica muy cerca de centros importantes de población, lo cual facilita su acceso.

El río Pacuare origina importantes beneficios sociales y económicos, tales como fuentes de agua potable, preservación de la biodiversidad, oportunidades para desarrollar actividades de turismo (balseo o "rafting", "kayaking", montañismo o "hiking", campismo, etc) y ofrece un gran potencial para el desarrollo hidroeléctrico.

Sin embargo este potencial ya está siendo amenazado, por usos no apropiados que se dan en la cuenca de este río. Como se indicó anteriormente, estos usos son de dos tipos: producción agrícola y producción pecuaria. Ambos se dan en zonas de pendientes y en donde se ha removido la cobertura boscosa, sin implementar prácticas de conservación de recursos naturales. Lógicamente esta situación produce los efectos negativos ya señalados: incremento en los niveles de erosión; arrastre de sedimentos; contaminación de aguas; empobrecimiento de la biodiversidad; destrucción de hábitats silvestres; y afectación de la belleza escénica.

Debido a esto es necesario pensar en formas de revertir (o atenuar al menos) las causas de dichos efectos. Este proceso debe de empezar por una identificación de áreas problemáticas, o áreas críticas. También se debe definir en función de que son críticas en la cuenca; bajo que contexto socioeconómico; y por qué.

La importancia de este estudio radica en que propone una metodología, para identificar áreas críticas de forma rápida; utilizando información primaria de campo e información secundaria en menor medida. Para lograr esto es clave el uso de la tecnología de Sistemas de Información Geográfica (SIG), como una herramienta para procesar la información biofísica y analizarla espacialmente. De esta forma se generarán nuevos datos sobre el uso que se le da a la tierra; bajo que condiciones se usa la tierra; las consecuencias de ese uso; y las posibles opciones que eliminen o atenuen los efectos del mal manejo.

Otro aspecto importante es que se hizo un estudio parcial de tenencia, uso y valoración de las propiedades en el área de interés; a la vez que se incorpora esta información como elemento de contexto, para caracterizar mejor las áreas críticas. Es importante hacer notar que el levantamiento catastral en formato digital, apenas se está haciendo en Costa Rica para el cantón central de San José y no se conoce de experiencias similares en las zonas rurales.

Esta identificación de áreas críticas es un paso inicial clave, para la formulación e implementación de futuros planes de manejo y rehabilitación de cuencas hidrográficas. Dentro de este estudio se recomiendan algunas ideas, que faciliten el diseño de futuras etapas de trabajo más específicas.

## **1.1 OBJETIVOS**

### **1.1.1 Objetivo Principal**

Identificar áreas críticas en un sector de la cuenca del río Pacuare, con el fin de orientar directrices futuras de posibles planes de manejo y conservación en la cuenca.

### **1.1.2 Objetivos específicos**

- Identificar y combinar el complejo biofísico y socioeconómico de la zona, con el fin de probar una metodología de identificación de áreas críticas, usando el sistema de información geográfica (SIG) como herramienta clave.

- Identificar y evaluar los estados erosivos presentes en la zona de estudio, así como los posibles conflictos de uso de la tierra.
- Hacer un estudio de tenencia, uso y valor de las propiedades en el área de estudio.
- Analizar espacialmente la relación de la información biofísica con la socioeconómica, con el fin de caracterizar mejor las áreas críticas.
- Establecer recomendaciones para facilitar el diseño de futuros planes de manejo de la cuenca.

## **1.2 HIPOTESIS**

Utilizando datos biofísicos y socioeconómicos, se plantean las siguientes hipótesis:

- Es posible identificar áreas críticas si la información es incorporada, manipulada y evaluada en un sistema de información geográfica (SIG).
- Es posible identificar los usos conflictivos de la tierra, por medio del análisis espacial.
- Es posible hacer un levantamiento catastral en formato digital y utilizar esta información para caracterizar mejor las áreas críticas.

## CAPITULO 2

### ANTECEDENTES

#### 2.1 Definición de cuenca hidrográfica

Para empezar, es necesario establecer algunas de las definiciones más recientes, referentes a lo que se entiende como cuenca hidrográfica.

Para T. Sheng (1992) es una zona delimitada topográficamente, que encierra tierras que drenan sus aguas en un punto específico, en un curso de agua o río. *"Una cuenca hidrográfica es una unidad hidrológica que ha sido descrita y utilizada como una unidad físico-biológica y también, en muchas ocasiones, como una unidad socio-económica-política para la planificación y ordenación de recursos naturales"*. Para Sheng los términos cuenca de captación y cuenca hidrográfica son lo mismo, y el tamaño puede variar desde unos pocos kilómetros cuadrados, hasta varios miles de ellos. También el autor hace una diferencia entre cuenca fluvial ("river basin") y cuenca hidrográfica ("watershed"), en donde la primera tiene una línea principal que corre hacia el mar, por lo que puede contener varias cuencas hidrográficas y otras formaciones de tierra.

Para Campos (1992) una cuenca es un área geográficamente definida, formada por uno o más ríos, sus afluentes y un punto de drenaje común. Dentro de esta área se encuentran una serie de recursos naturales (agua, suelo, flora y fauna), necesarios para el desarrollo de actividades humanas. Cada cuenca es única, pues sus características físicas (tamaño, forma, relieve, etc.), los recursos que contienen y los tipos de uso que se presentan son únicos.

Cuando en una cuenca hay actividades humanas significativas, se dice que está intervenida y los dos elementos principales que determinan su funcionamiento, como cuenca intervenida son:

**I) Naturales:** agua, suelo, clima, geología, topografía, tamaño, fauna y flora.

**II) Humanos:**

- **Socioeconómicos:** Infraestructura, tipos de producción, nivel tecnológico, población, tenencia de la tierra y calidad de vida.
- **Jurídico-institucionales:** Normas que regulan el uso de los recursos naturales, leyes, políticas de desarrollo e instituciones involucradas.

Para Dourojeanni (1994) una cuenca hidrográfica es delimitada por la propia naturaleza, especialmente por los límites de las zonas de escurrimiento de las aguas superficiales, que terminan en un mismo cauce. *"La cuenca, sus recursos naturales y sus habitantes poseen condiciones físicas, biológicas, económicas, sociales y culturales; que les confieren características que son particulares a cada una"*. Este autor también diferencia los conceptos de cuenca hidrográfica (watershed), de cuenca fluvial (river basin); en donde el primero se refiere más a cuencas en las altas montañas, mientras que el segundo es un concepto más amplio que incluye varias cuencas, que poseen un drenaje común que finaliza en el mar.

## 2.2 La utilización de las cuencas en el desarrollo del hombre

Dourojeanni (1994) establece una relación de dependencia entre el hombre y la cuenca, al ser esta última un fenómeno natural de captación y concentración de agua superficial. Físicamente la cuenca tiene un carácter volumétrico e hidrológico, pero debido a las interrelaciones ecológicas presentes, la cuenca y el agua captada por la misma representa una fuente de vida para el hombre.

Este autor justifica muy bien el valor estratégico que tienen las cuencas hidrográficas, para el desarrollo de las actividades humanas. *"En zonas de altas montañas y cordilleras los ejes longitudinales de las cuencas se constituyen en vías naturales de comunicación y de integración comunal, sea a lo largo de sus ríos, sea a lo largo de las cumbres que las separan unas de otras. Se fomentan estrechos mecanismos de interacción entre sus habitantes, que le confieren condiciones socioeconómicas particulares"* (Dourojeanni, 1994). El eje de los ríos también constituye fuentes de articulación humana, pues el mismo río se convierte en una vía de comunicación natural.

Todo esto pareciera ser muy obvio, pero es una realidad que se puede constatar fácilmente mirando, en mapas o fotografías aéreas la distribución de las comunidades presentes en una cuenca.

De hecho *"el territorio de las cuencas facilita la relación entre sus habitantes -independientemente de que si éstos se agrupan dentro de dicho territorio en comunas delimitadas por razones político-administrativas- debido a su dependencia común a un sistema hídrico; a los caminos y vías de acceso; y al hecho de que deben de enfrentar peligros comunes"* (Dourojeanni, 1994). Debido a esta relación, si no existe una

conciliación de los intereses de todos los actores presentes en la cuenca, se producen conflictos entre ellos.

Es importante recordar que la presencia humana más básica en la cuenca es el predio agrícola, el cual plantea un cambio que puede provocar dos situaciones posibles para el agricultor:

- 1) Ser afectado por los cambios originados en los sectores altos de la cuenca. Aquí se refiere a los predios ubicados en valles al lado de los ríos, que reciben los desbordamientos de cauces y el arrastre de sedimentos.
- 2) Afectar los predios ubicados aguas abajo, debido a la deforestación causada en las laderas, que originan procesos erosivos y obstrucción de ríos en la parte baja.

Además de lo anterior, actividades agropecuarias extensivas (que rebasan el predio agrícola), mineras e industriales, van a ocasionar una serie de cambios que afectarán los recursos naturales. Estos cambios pueden variar según el tipo de ecosistema, fragilidad del mismo y tipo de desarrollo que se ejecuta (Campos, D.F. 1992).

Para Dourojeanni (1994) la cuenca es un excelente indicador del efecto de la actividad humana sobre su entorno, especialmente en lo referente a la calidad del agua. Este autor cita una de las bases teóricas para la creación de la Agencia de Cuencas en Francia y que dice lo siguiente: *"El medio acuático es una entidad que alberga y sostiene todo un mundo animal y vegetal, sus aguas y sus riberas conforman un edificio biológico particular. La intervención no pensada del hombre sobre uno solo de estos elementos, rompe este equilibrio precario y determina un empobrecimiento general del medio natural"*.

### 2.3 El Manejo de cuencas hidrográficas y su papel en el manejo racional de los recursos naturales

Villa (1989) indica que el concepto de Manejo de Cuencas Hidrográficas ha evolucionado desde hace más de 30 años. Al principio tenía un exclusivo carácter hidrológico, y se ordenaba y planificaba en función del recurso agua; sin tomar en cuenta las interrelaciones existentes con otros recursos y con el hombre mismo. Ya para la década de los 70 la ONU señala que: *"El desarrollo integrado de Cuencas Hidrográficas significa el manejo ordenado de los recursos hidrológicos; con un aprovechamiento de múltiples propósitos; para mejorar el bienestar del hombre"*. Ya a partir de aquí es que se toma al hombre como punto central.

Los posteriores planteamientos se centraban sólo en planificar y manejar la cuenca; y es hasta finales de los 70 cuando se comienza a hablar de la explotación de los recursos, sobre una base de rendimiento sostenible.

Por su parte Sheng (1992) define la ordenación de cuencas hidrográficas como: *"el proceso de formulación y ejecución de un sistema de acción, que incluye el manejo de los recursos en la cuenca, para la obtención de bienes y servicios, sin afectar los recursos de suelos y aguas"*. Para lograr esto, el autor indica la necesidad de tomar en cuenta factores sociales, económicos e institucionales, que actúan dentro y fuera de la cuenca.

Otra definición indica que el manejo de cuencas hidrográficas es *"aquella actividad ordenada y planificada, dentro de un área denominada cuenca hidrográfica; con el propósito de aprovechar los recursos naturales, buscando una producción óptima y sostenida, que resulte en un incremento del bienestar social y económico del elemento humano involucrado"*. Este manejo es una forma de modificar el área de la cuenca, de tal manera que se minimizen los conflictos entre los intereses individuales y colectivos.

Dourojeanni (1994) habla más bien de una gestión integrada de cuencas, que tiene como fin favorecer el desarrollo sustentable, desde el momento en que con este proceso de gestión, se buscan tres cosas:

- 1) Conciliar el aprovechamiento de los recursos naturales de la cuenca
- 2) Manejar los recursos con fines de evitar conflictos y problemas ambientales.
- 3) Equidad mediante procesos de decisión, donde participan democráticamente los diferentes actores.

Lo que se busca es un sistema estable, en donde el desarrollo esté en función del crecimiento económico, la sustentabilidad ambiental y la equidad social. El uso adecuado de los recursos naturales implica, una perpetuidad de su base productiva o sostenibilidad de los mismos. Esta conservación garantizará la incorporación de éstos, al desarrollo económico y social del país; bajo condiciones de equidad para todos los actores de la cuenca.

Según lo anterior, el manejo de cuencas debe comprender actividades de planificación, legislación, aprovechamiento y monitoreo (de los recursos); de forma sistematizada e integrada. El manejo de cuencas debe de incluir la planificación, ya que es un proceso ordenado y sistematizado, cuya base física es la tierra y cuyo fin social es el bienestar general.

## 2.4 Uso de la tierra, planificación y áreas críticas

El uso de la tierra no solo se refiere al manejo de los recursos naturales, ya que es un concepto espacial y temporalmente más amplio. El recurso natural es solo un bien o elemento dentro de la tierra y tiene un valor por sí mismo; mientras que la tierra se hace valer por su uso.

El uso de la tierra se puede definir como el conjunto de actividades que hace el ser humano, en función de características y atributos razonablemente estables o predeciblemente cíclicos; mediante el cual se pueden producir alimentos, madera, leña, recreación, etc. (Faustino, J. 1995). Encontrar el mejor uso posible es lo importante.

Villa (1989) establece cuatro principios que determinan a la cuenca como la unidad básica de planificación:

- El principio de la homogeneidad ecológica (relaciones que existen entre los componentes bióticos y abióticos de la cuenca).
- El principio de funcionalidad (Se refiere al aspecto económico y a la interrelación de todos los componentes en forma espacial).
- El principio de integración (interrelación de todos los componentes bajo una coherencia hidrológica característica).
- El principio de sistema (la cuenca es un sistema abierto, en donde hay entradas y salidas de ciertos aspectos biofísicos y sociales).

Ahora bien, la planificación es un proceso ordenado que define prioridades; asigna recursos y tecnologías; y alcanza metas. Dentro de este concepto de planificación, es donde se inserta el objetivo de este estudio: la definición de áreas prioritarias de trabajo. Esto es importante por la obvia razón, de que los recursos con que se cuenta para trabajar son siempre escasos. Estos sitios prioritarios de trabajo son las llamadas áreas críticas. Ahora bien, por qué son críticas?.

No existe una definición exacta y uniforme para este concepto, y de hecho por sí solo es vago y relativo. La literatura indica que es un término muy usado subjetivamente y siempre en función de algo.

Por ejemplo, el concepto se puede aplicar para áreas agrícolas altamente productivas, con riesgo a ser empleadas en usos no agrícolas (urbano e industrial). Desde este punto de vista, el planificador implementa programas de protección para estas zonas agrícolas, como los ocurridos en British Columbia (Canadá) y en California (EUA), a partir de 1973 (Gustafson G., 1981).

Otro punto de vista muy común en la actualidad, es definir la criticidad en función al deterioro de un recurso. Estos recursos suelen ser suelo, agua y bosque. En el caso del primero, el concepto se aplica a aquellas áreas, en donde las pérdidas de suelo exceden la regeneración natural del mismo. En el caso del segundo se aplica en aquellas áreas, donde se alcancen las máximas mejoras en la calidad del recurso, al menor costo posible (Maas, et al. 1985).

Finalmente en el caso del bosque, el concepto se podría aplicar a aquellas áreas de bosque primario, ubicadas en zonas planas; cerca de la frontera agrícola; cerca de caminos; o bien con un estatus de capacidad de uso dudoso.

En general se podría establecer la siguiente definición: *"Áreas críticas son aquellas áreas que debido a sus condiciones biofísicas y socioeconómicas; se convierten en zonas de riesgo potencial para el deterioro de los recursos naturales que contienen (Leclerc, G. et al. 1995)"*. Es hacia estas zonas en donde se concentran las actividades, que eliminen o atenúen el impacto negativo de la actividad humana.

El concepto de área crítica es clave para trabajar en el ordenamiento del uso de la tierra, dando prioridad a áreas conflictivas. De esta forma, será más efectiva la planificación del uso de los recursos naturales, en una zona geográfica determinada.

## **2.5 El uso del Sistema de Información Geográfica (SIG) para identificar áreas críticas**

### **2.5.1 Definición de lo que es un SIG**

El Sistema de Información Geográfica (SIG) es algo reciente y con múltiples y cada vez más crecientes aplicaciones. Por esta razón se hace difícil dar una definición uniforme, pues hay diferentes formas de definir y clasificar objetos y temas. En general cada usuario adapta las aplicaciones a sus necesidades específicas; lo que genera una gran cantidad de ideas y criterios acerca de lo que es el SIG y cuales son sus alcances.

Eastman (1992) establece cuatro componentes importantes de un SIG: el equipo de cómputo ("hardware"); programas de cómputo o módulos de ellos ("software"); datos; y personal calificado; que operan en un apropiado contexto institucional. Sin embargo qué es el SIG?.

Algo claro es que el SIG es un sistema que representa a la realidad por medio de elementos geográficos (polígonos, líneas y puntos). Estos elementos se definen de acuerdo a dos tipos de datos: los geográficos y los atributos. Los primeros son también llamados datos espaciales o localizacionales y dan una referencia de los segundos, también llamados datos estadísticos o no espaciales.

Por ejemplo, las áreas político-administrativas de una región (polígonos); la red de drenaje de una cuenca (líneas); o bien puntos que marcan las máximas elevaciones de una cordillera (puntos); son todos elementos geográficos que dan una respectiva referencia sobre el censo poblacional; caudales promedio; y alturas de una zona determinada.

Maguire (1991) establece las siguientes tres visiones complementarias de un SIG, que sintetizarían varias de las diferentes ideas que existen a nivel mundial sobre qué es SIG:

- I) **El punto de vista cartográfico:** el cual enfatiza que el SIG es un sistema para procesar y desplegar mapas. Bajo este criterio cada conjunto de datos es representado en un mapa; el cual podría manipularse por funciones de suma, resta, multiplicación, o búsquedas específicas. El resultado de estas operaciones es otro mapa diferente.
- II) **El punto de vista de las bases de datos:** este establece que un SIG debe de tener un sofisticado manejador de bases de datos, como pieza fundamental del sistema.
- III) **El punto de vista del análisis espacial:** el cual resalta la capacidad del SIG en el análisis y la modelación espacial; por lo que se habla más una ciencia de información espacial, que de una tecnología.

Goodchild (1988) define el análisis espacial como un conjunto de métodos analíticos, que requiere acceder a los a los objetos bajo estudio, sus atributos, y su información localizacional.

Esta última visión es una de las más comúnmente aceptadas y reconocidas; y es la que marca la diferencia entre el SIG y otros sistemas de información. Sin embargo, esta clasificación refleja también las diferentes formas en que el SIG es interpretado y usado en el mundo.

### **2.5.2 Formato de representación de los datos en SIG**

A nivel de datos existe una distinción entre los programas de SIG, en relación a como se presenta el formato digital de los mismos. Ya se ha mencionado que un SIG maneja dos tipos de datos: los localizacionales y los atributos; pero la lógica de como los maneja puede ser de dos formas: formato vectorial y formato cuadrícula o "raster".

En el primero los bordes de cualquier característica del mapa están definidas por una serie de puntos, que se unen para formar líneas rectas, que a su vez forman la representación gráfica de la característica. Cada punto esta asociado a un par de números que les dan sus coordenadas X y Y, en UTM, Lambert, o Lat/Long. Los atributos de cada característica se almacenan en manejadores de bases de datos corrientes; y se relacionan con la característica por medio de un número identificador común.

En los formatos "raster" la representación gráfica de la característica y sus atributos se unen en un solo archivo. El área de estudio se subdivide en una cuadrícula fina, en donde a cada celda o pixel se le asigna un valor numérico, que representa una condición o atributo de la tierra en ese punto.

Los anteriores formatos tienen sus ventajas y desventajas. Los sistemas "raster" almacenan una gran cantidad de datos, sin importar cuales son de interés y cuales no. Sin embargo tienen la ventaja de que el espacio geográfico es definido sencilla y predeciblemente; por lo que tienen un mayor poder analítico en los espacios continuos, estudiando datos que cambian constantemente en el espacio. Otra ventaja es que su estructura casi concuerda con los computadores digitales, por lo que son muy rápidos en hacer combinaciones matemáticas de datos en cuadrículas múltiples.

Los sistemas vectoriales tienden a orientarse en el manejo de bases de datos, son más eficientes en almacenar información y tienen grandes capacidades de mapeo, con búsquedas específicas en la base de datos. No son muy eficientes en el análisis del espacio continuo.

### **2.5.3 Aplicaciones de los SIG en el manejo de recursos naturales**

En el caso del manejo de recursos naturales los SIG tienen una amplia variedad de usos. Estos usos pueden ir desde las etapas iniciales de planificación, hasta las etapas de control y seguimiento. Sin embargo, la utilidad de un SIG se ve limitada por las siguientes tres condiciones:

- 1) Existencia y disponibilidad de información requerida.
- 2) Capacidades de los programas y equipos.
- 3) Habilidad y experiencia de quien los maneja.

La mayor fortaleza en manejo de recursos naturales es la de poder relacionar datos espaciales, con no espaciales simultáneamente. De esta forma, con el SIG se pueden manipular datos como cobertura del suelo; tipo de suelos; uso potencial y actual de la tierra; tipos de erosión, valor y tenencia de la propiedad agrícola; etc.

Por esta razón, los SIG son una herramienta de gran utilidad para analizar la información; en la toma de decisiones; y en la formulación e implementación de planes de manejo en una zona dada. Los objetivos de esta tecnología son: tener una ubicación espacial del problema en estudio; tener la información organizada, actualizada y de disponibilidad inmediata; y permitir realizar modelaciones complejas (Saborio, J. 1991).

Para la planificación física los SIG pueden evaluar distintos escenarios, que correspondan a zonas de interés con relación a uno o más fenómenos. Un ejemplo de esto es la identificación de zonas críticas donde el proceso erosivo es más intenso (debido al uso que se le da) y aquellas que debido a sus condiciones naturales, podrían erosionarse con facilidad si son alteradas. El SIG podría especificar lo siguiente:

- Ubicación de las áreas de mayor riesgo de erosión
- Extensión de dichas áreas
- Prácticas de conservación de suelos más recomendables
- Accesibilidad

Otra de las aplicaciones del SIG que ayuda en la definición de zonas críticas, es la caracterización y cuantificación de los recursos naturales existentes en determinada cuenca. Aquí se pueden contestar interrogantes referidas a:

- Tipo de cobertura
- Area aproximada de cada tipo de cobertura
- Tipos de suelos
- Capacidad de uso, uso potencial y uso actual
- Conflictos de uso
- Riesgos de erosión
- Red de drenaje
- Potencial de colonización

El SIG es muy usado en muchos países para la identificación de zonas críticas y en la priorización de cuencas. La capacidad tecnológica que ofrece este sistema permite la integración de datos biofísicos y socioeconómicos, que resulta en información valiosa para contestar algunas de las siguientes preguntas:

- Que cuencas de una región o que subcuencas de una cuenca deben de ser atendidas de inmediato?
- Cuáles son los principales problemas involucrados?
- Cuál es el área que cubren estas zonas?
- Cómo es la accesibilidad a estas zonas?

(Velasquez, S. 1994).

## **2.6 Antecedentes metodológicos en la identificación de áreas críticas utilizando SIG**

Desde la década de los 70 se han desarrollado metodologías de identificación de áreas críticas, bajo un enfoque de jerarquización de las mismas, en función de criterios biofísicos, socioeconómicos e institucionales. La mayoría de estas metodologías prioriza a nivel de cuenca, subcuenca y microcuenca; pero pocas incluyen las orientaciones necesarias, para buscar el uso sostenido de los recursos (Faustino, J. 1987).

González (1986) identificó áreas críticas en la cuenca del Río Grande de Térraba (Costa Rica), utilizando una metodología que permite desagregar áreas de estudio cada vez menores (cuenca, subcuenca y microcuenca); las que son tratadas en su respectivo nivel de detalle. Durante el proceso de

desagregación de las áreas de estudio se utilizaron tres tipos de matrices: de recursos; matrices de efectos impactantes; y matrices de resumen. Cada matriz contiene variables, las cuales se ponderan con coeficientes o pesos. De la interacción sucesiva de estas matrices se obtienen las áreas críticas.

Faustino (1987) encontró que la anterior metodología permite establecer las variables determinantes, en la identificación de áreas críticas en tierras de laderas. Sin embargo, esta metodología necesita ser mejorada en cuanto a la propuesta de interacciones, para determinar la ingerencia entre variables y no solo a un ordenamiento. Esta metodología no incluye variables socioeconómicas.

Cabrera (1987) identificó áreas biofísicamente críticas (origen antrópico y natural) en la parte superior de la cuenca del río Chixoy (Guatemala), por medio de: reconocimientos de campo; determinación de la capacidad de uso; y determinación de degradación específica, con el transporte de sedimentos en suspensión (criterio de Fournier). El resultado fue satisfactorio, con excepción de la determinación de degradación específica, el cual no fue representativo para toda la zona de estudio. Esta metodología no incluye variables socioeconómicas.

Actualmente es cada vez más común encontrar experiencias con SIG, en la identificación de áreas críticas. Un ejemplo es lo que realizó Hyman en 1990, identificando áreas críticas como fuentes productoras de sedimentos (contaminación no puntual), en South Fork, New River, North Carolina (USA). Para esto se utilizó la Ecuación Universal de Pérdida de Suelos (EUPS o USLE), con el fin de estimar la pérdida potencial del mismo. El resultado fue un mapa de erosión potencial, el cual muestra tres aspectos importantes: tipos de cobertura; pendientes con su correspondiente potencial de erosión; y ubicación geográfica respectiva.

El analizar y manipular estos resultados permitió evaluar el daño actual y buscar alternativas de uso, que atenúen los efectos adversos y garanticen la sostenibilidad de los recursos.

Bolaños y Fallas (1991) evaluaron el riesgo de erosión potencial de una cuenca (sistema UIM de CENICAFE, Colombia), manipulando espacialmente el grado de susceptibilidad a la erosión (asociado a cada unidad de suelo), con el de agresividad de la lluvia. El resultado obtenido fue un mapa de índices potenciales de erosión.

Otros estudios hechos con SIG en Centroamérica fueron los realizados por Castillo (1992) y por Arana (1992), quienes evaluaron la erosión hídrica, en las subcuencas del río Las Cañas (El Salvador) y le río Pensativo (Guatemala), respectivamente. En ambos casos se usó la USLE y en ambos casos el SIG resultó ser una herramienta útil para aplicar esta ecuación; hacer clasificaciones en rangos de erosión; y cuantificar el sedimento en cada uno de los rangos establecidos.

Un ejemplo reciente en la identificación de áreas críticas usando SIG, fue el realizado por Sánchez en 1993 en la cuenca del río Reventado, Costa Rica. Para esto se utilizó la metodología propuesta por el CIDIAT, para identificar áreas críticas a nivel de microcuenca.

En dicho estudio se usaron dos modelos: el de la USLE y el de capacidad de uso de la tierra propuesto por T. Sheng (1990). Con el SIG fue posible el análisis espacial, de todos los parámetros requeridos por la metodología del CIDIAT. A cada parámetro se le asignó un peso y un valor correspondiente para cada pixel; para luego hacer un agrupamiento de áreas con valores similares, en cinco categorías críticas (Sanchez, O. 1993).

Como se puede apreciar, hay varias metodologías para la identificación de áreas críticas; algunas tienen un enfoque estrictamente cuantitativo, mientras que otras se basan en análisis de variables cualitativas. El presente estudio pretende diseñar y probar una metodología diferente, la cual ha sido adaptada de la propuesta hecha por PAP-UNEP para los países de la cuenca del Mediterráneo; elaborada por Carrera Morales, J.A.; Rojo Serrano, L.; Ruiz Sinoga, J.D.; y Sánchez Palomares, P.; para el Instituto de Conservación de la Naturaleza (ICONA) en España.

La metodología tiene un carácter básicamente cualitativo y ha sido adaptada a condiciones tropicales, por lo que fue necesario complementarla con algunos parámetros de clasificación, definidos por la metodología para diagnósticos físicos conservacionistas en cuencas hidrográficas; elaborada por el Centro Interamericano de Desarrollo Integral de Aguas y Tierras (CIDIAT), Venezuela. Además se han agregado dos variables nuevas: los conflictos de uso e información socioeconómica de la zona de estudio.

Es importante aclarar que el diseño de la nueva metodología usada, se ha hecho con el asesoramiento de diferentes técnicos conocedores, de los diferentes temas involucrados en esta investigación; pues como es normal, muchos de estos escapan del campo profesional del autor.

Este nuevo diseño tiene el atractivo de que no ha sido empleado, por lo que es una buena oportunidad de adaptarlo, usarlo y probarlo, en las condiciones de la cuenca del río Pacuare.

## **2.7 Descripción general del area de estudio**

### **2.7.1 Localización geográfica y características físicas**

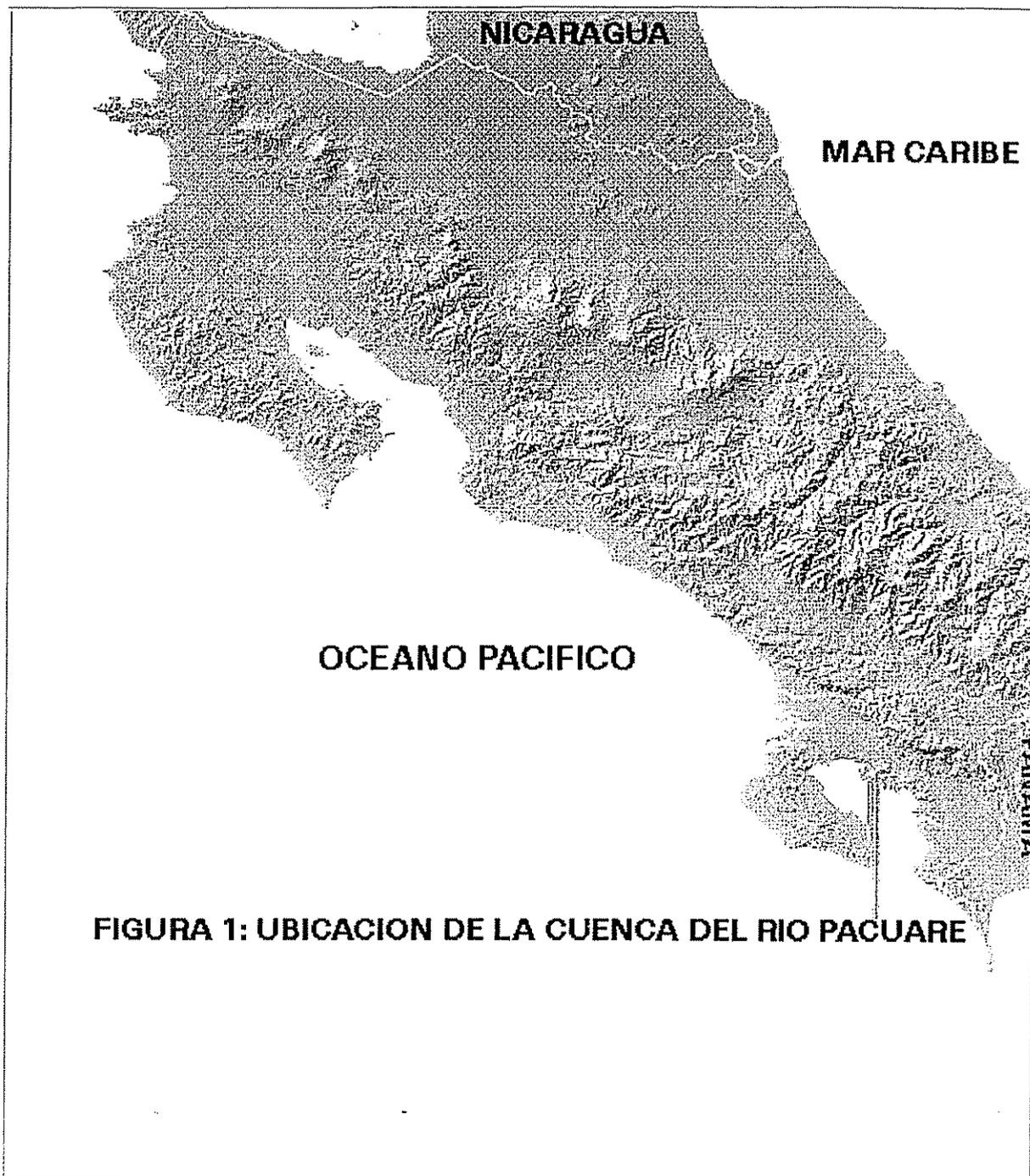
El área donde se va a probar esta metodología es parte de la cuenca del río Pacuare. Dicha cuenca se encuentra en la vertiente atlántica de Costa Rica; tiene forma de ese alargada; y su eje está orientado de sur a norte, con la parte alta localizada en las estribaciones de la cordillera de Talamanca (Figura 1).

La zona de estudio se encuentra localizada entre las coordenadas Lambert N 216 a 229 (Y) y E 583 a 595 (X); y comprende desde la localidad de Tres Equis hasta el área de Siquirres (en Dos Montañas). Administrativamente está en la provincia de Limón, en los cantones de Siquirres y Matina.

Esta zona tiene una superficie aproximada de 89,25 km<sup>2</sup> y comprende 26 Km de río. Los principales afluentes del Pacuare en esta zona son los ríos Cimarrones, Pacuarito, Siquirres; y algunas quebradas importantes como la Terciopelo y Quebradón.

El relieve es generalmente muy irregular presentando partes de pendiente moderada y partes de pendiente fuerte.

Los suelos son ultisoles (suelos argílicos) del subgrupo Typic Tropohumult y Typic Humitropept, que se caracterizan por tener un horizonte de color pardo a pardo oscuro o amarillento; con minerales meteorizables y relativamente bajos en fertilidad natural. Su textura es arcillosa y su material parental es de origen volcánico, lahar, o de material no diferenciado. El drenaje de estos suelos es regular, con una permeabilidad de lenta a moderadamente lenta. Por lo general son suelos ácidos, con ligeras limitaciones para el desarrollo de cultivos perennes; moderadas limitantes para los cultivos anuales; y



**FIGURA 1: UBICACION DE LA CUENCA DEL RIO PACUARE**

ligeras para el establecimiento de pastos (Reforestadora Costarricense S.A., 1985).

Las altas precipitaciones y la predominancia del relieve irregular limitan la aptitud del uso de esta zona. Pareciera ser que la aptitud de uso es hacia la protección, o producción forestal y agroforestal; aunque se podrían encontrar pequeñas áreas de aptitud agrícola.

### 2.7.2 Caracterización biológica

Un estudio realizado por Murillo, et al (1985) reportó que la zona está compuesta en su mayoría por bosques muy húmedos (85% inalterados al momento del estudio), repartidos en dos tipos de comunidades:

- **Bosques de tierras bajas:** a alturas menores o iguales a los 300 m.s.n.m y con una precipitación promedio anual de 3500 a 4000 mm.
- **Bosques de tierras intermedias:** a alturas mayores a los 300 m.s.n.m. y con una precipitación promedio anual de 3000 a 3500 mm.

La temperatura promedio anual es de 25 °C en las partes bajas y de 22.5 °C en las altas. En el área existen las siguientes cuatro zonas de vida: bosque muy húmedo tropical; bosque muy húmedo tropical transición a premontano; bosque muy húmedo premontano transición a basal; y bosque pluvial premontano.

La zona tiene gran importancia desde el punto de vista de conservación de la biodiversidad, y sus bosques albergan especies de gran utilidad científica, de las cuales 7 son endémicas. Como resultado de ese estudio, se reforzó la

importancia del río Pacuare como río escénico, mientras que un sector de la cuenca se declaró como Zona Protectora Pacuare (1985) (Figura 2, área verde). Estas dos categorías las define Miller (1980) de la siguiente manera:

**a) Zonas de Protección:**

Son áreas que por su pequeño tamaño no se clasifican bajo otras categorías de áreas silvestres, pero que si requieren de estrictos controles en el uso de la tierra. Ejemplos de estas zonas son: terrenos costeros; terrenos adyacentes a embalses, riberas de ríos y rutas de transporte; zonas de taludes con peligro de erosión; laderas de las cordilleras; cuencas hidrográficas; y terrenos adyacentes a centros urbanos y carreteras.

El uso irracional de estos terrenos lleva a una degradación de los recursos hídricos, mayores inversiones de capital aguas abajo, reducción de la vida útil de los embalses y daños a la infraestructura de transporte.

Su objetivo principal es asegurar un uso estable y natural de las zonas críticas para el desarrollo y conservación del medio ambiente (Miller, K. 1980).

**b) Áreas recreativas, carreteras y ríos panorámicos:**

Son áreas relativamente grandes, que cuentan con un paisaje natural o seminatural sobresaliente y con el potencial físico para convertirse en zonas recreativas al aire libre, de importancia nacional e internacional. Por lo general, estas áreas se encuentran cerca de importantes centros de población y de redes de comunicación. Los recursos son lo suficientemente resistentes y con capacidad de recuperación, como para ofrecer servicios de esparcimiento a un número grande de visitantes. En estas áreas se conserva la cobertura vegetal que asegura el

contexto del paisaje, en beneficio de los visitantes locales y extranjeros.

El objetivo principal de esta categoría es proporcionar oportunidades recreativas, dentro de un ambiente natural (o semi-natural) y estético. También se pueden comprometer con la conservación de recursos genéticos, recursos hídricos, control de erosión y protección de la biodiversidad. Estas áreas también se establecen y manejan bajo dirección y tenencia pública en perpetuidad (Miller, K. 1980).

Además de lo anterior, la zona de estudio está ubicada estratégicamente entre el Área de Conservación La Amistad y la Reserva Protectora de la Cordillera Volcánica Central. Esta situación le da un potencial interés como futuro corredor biológico.

### **2.7.3 Caracterización socioeconómica**

La cuenca presenta una mayor penetración antropogénica en todo el sector izquierdo (Figura 2, área roja). Del lado derecho existe una reserva indígena y una forestal (áreas verde, azul oscuro y amarillo). De hecho en la actualidad, el río Pacuare es la barrera u obstáculo geográfico natural más importante, para detener el avance de colonización proveniente de la carretera Turrialba-Siquirres (CAURA. 1994).

La economía de la zona es típicamente campesina. Las principales actividades de producción son la ganadería de carne y el cultivo de culantro coyote para la exportación. En menor escala se produce café, caña, palmito, pejibaye, plátano o banano, yuca, frijoles y maíz. Mucho de esta producción es para vender en las ferias del agricultor de Siquirres y Turrialba, y el resto es para autoconsumo. También existe una actividad extractiva de madera (legal e ilegal).

Un aspecto importante es que el río Pacuare (26 km) es la principal ruta usada, por las compañías de balseo ("rafting") en sus viajes turísticos y por practicantes individuales de kаяaquismo. Esto hace de la zona de estudio un punto de gran interés turístico, para visitantes (mayoritariamente extranjeros) que vienen a vivir una aventura en un río caudaloso; y contemplar de cerca la belleza de un bosque primario tropical.

Sin embargo, es importante aclarar que las poblaciones locales no se ven beneficiadas por estas actividades, pues ni siquiera entran en contacto con el turista. Generalmente el visitante (quien paga entre US\$ 50 a 100 por viaje) es llevado hasta el río por la compañía de "rafting"; a veces pernocta en campamentos de estas compañías al otro lado del río (margen derecho), y finalmente es llevado por las mismas compañías desde Siquirres hasta sus hoteles en San José. Todo el personal y todo el equipo de estas compañías es de fuera de la zona; así que, con excepción de uno que otro propietario que cobra el ingreso al río a través de su finca, las comunidades locales no perciben ningún beneficio de esta actividad turística.

Por otra parte, los servicios públicos son escasos o deficientes. Muchos de los caminos internos son transitables parcialmente. El servicio de electricidad y teléfono solo llega a las localidades que están sobre la carretera Turrialba-Siquirres, y los puestos de salud son inexistentes.

Debido al escaso desarrollo económico de la zona, los jóvenes tienen pocas oportunidades para realizar un proyecto de vida, en donde nacieron y se criaron. Debido a esto, los que estudian emigran hacia Turrialba o San José y los que jornalean tienen que emigrar hacia las zonas bananeras, siempre en busca de mejores oportunidades de vida.

El precarismo en la zona es poco frecuente, pero no descartable. De hecho, en una finca en Tres Equis (en el límite sur de la zona de estudio) se presentó un invasión mientras se realizaba este estudio. Estas situaciones generalmente ocurren bajo las siguientes condiciones:

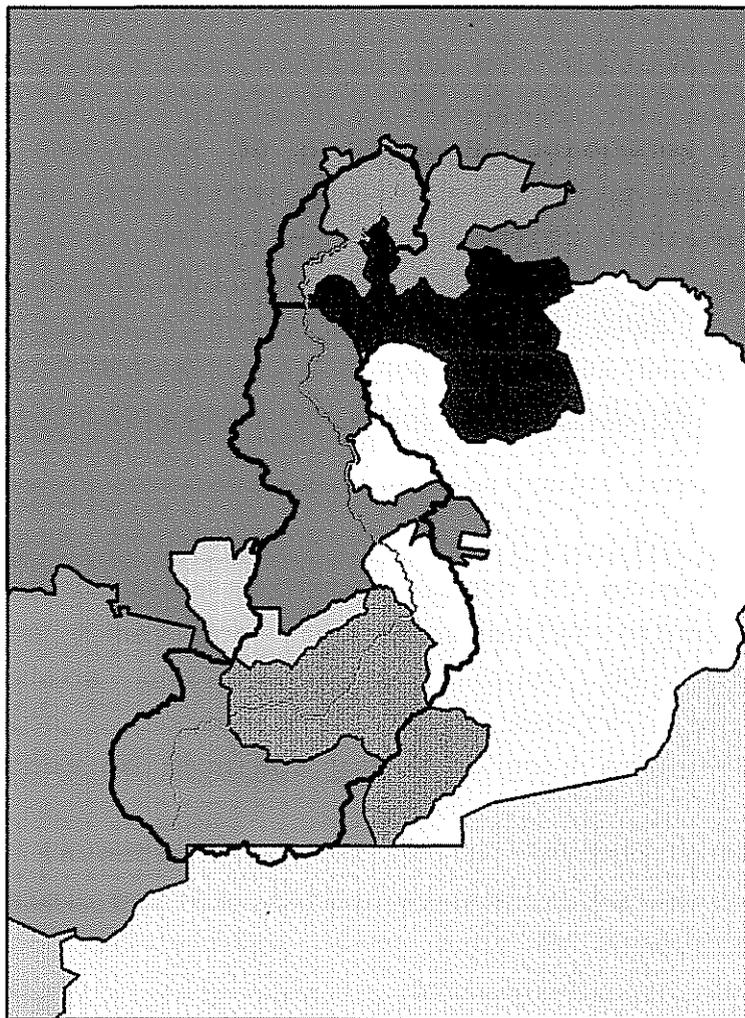
- Area muy grande en pocas manos.
- Dueños extranjeros.
- Grupos de presión organizados.
- Ausencias prolongadas de los propietarios.
- Tierra subutilizada o sin producción aparente.

Por otra parte, en la zona de estudio existe una reserva indígena de Bribris y Cabécares llamada "Mauri Awari" (Figura 2, área azul oscuro). Esta fue declarada oficialmente como Reserva Indígena en 1991 (Decretos Ejecutivos No 16050-G y 10706-G), y al parecer viven en ella unas 50 personas pertenecientes a 10 familias. Si el desarrollo económico de la población no indígena es difícil, lo es aún más para estos grupos aborígenes; tanto que casi están abandonados a su suerte.

Estos grupos indígenas viven en pequeñas parcelas, con un complejo sistema de policultivo (hasta 30 especies comestibles en una parcela promedio). Viven un patrón de asentamiento caracterizado por la alta dispersión y se comunican entre sí por medio de senderos en la jungla. Con el "exterior" se comunican cruzando el río Pacuare en pequeños andarivieles. Por lo general solo salen para trámites legales importantes, asuntos de salud y para realizar pequeñas transacciones comerciales.

Finalmente, el río Pacuare tiene un alto potencial hidráulico, por lo que el Instituto Costarricense de Electricidad (ICE) tiene planeado establecer el Proyecto Hidroeléctrico Siquirres.

Este proyecto ha sido muy polémico, pues el futuro embalse inundaría aproximadamente 26 km de río y alrededores; lo que ha causado la protesta de grupos ecologistas, institutos de protección al aborigen y empresas turísticas. Sin embargo, este proyecto está programado hasta el año 2008 y no es seguro que se realice; debido principalmente a razones presupuestarias.



- |                   |                    |
|-------------------|--------------------|
| ■ Fincas privadas | ■ R.I. Mauri Awari |
| ■ R.F. Pacuare    | □ R.I. Chirripo    |
| □ Z.P. Rio Tuis   | ■ R.F. Chirripo    |
| ■ R.F. Rio Macho  | □ P.N. Chirripo    |
| ■ R.F. Los Santos | ▨ Rio              |

FIGURA 2: CUENCA DEL RIO PACUARE

## 2.8 Justificaciones para la selección de este sector de la cuenca

- a) Esta es una zona de producción agropecuaria y de explotación turística; que a la vez es estratégica desde el punto de vista de producción hidroeléctrica y conservación de la biodiversidad. Por esto el presente estudio sería de utilidad para coordinar esfuerzos, entre los actores institucionales y privados con intereses en la cuenca (ICE, MAG, grupos conservacionistas, grupos turísticos y principalmente agricultores).
- b) Existen en la zona aproximadamente 40 propiedades en producción y hay dos grupos comunales organizados. Esto implica una mayor viabilidad de recolectar información socioeconómica, dentro de las limitaciones de recursos y tiempo para este estudio.
- c) En esta investigación se va a probar una nueva metodología, por lo tanto es mejor seleccionar un área piloto apropiada. Esta zona es adecuada, pues la gente está organizada, es cercana y de fácil accesibilidad. Además la disponibilidad de información es mayor.

## CAPITULO 3

### METODOS Y MATERIALES

#### 3.1 Descripción general de la metodología utilizada

Tal y como se mencionó en la sección 2.6, la metodología usada en este estudio es una adaptación de una de origen español, la cual se complementó con la incorporación de dos variables adicionales: una biofísica y otra socioeconómica. Antes de ejecutar paso a paso la metodología que en este capítulo se describe, se realizaron dos etapas anteriores muy importantes. Dichas etapas son: revisión de fuentes de información y reconocimiento de campo.

En la primera etapa se recolectó toda la información disponible sobre la cuenca del río Pacuare: documentos; datos; mapas físicos; mapas digitales; y fotografías aéreas. También se visitaron instituciones con experiencia de trabajo en la cuenca, donde se consultó con varios técnicos sobre información general de la misma y sobre las posibilidades de diseñar la presente metodología. De estas entrevistas surgieron importantes observaciones, que contribuyeron a afinar la propuesta metodológica.

En la segunda etapa se visitó la zona de estudio, en compañía del agente local de extensión agrícola del Ministerio de Agricultura y Ganadería (MAG). Dicha persona cumplió un papel muy importante, en el desarrollo de una parte clave de esta metodología: el acceso a las comunidades campesinas locales. Con él se recorrió gran parte de la zona de interés, se hicieron los primeros contactos con líderes locales y se programó el trabajo de campo.

Una vez concluidas las dos etapas anteriores se pasó a una fase de trabajo de laboratorio, en la cual se procesó, manipuló y analizó la información obtenida, utilizando el sistema de información geográfica PC ARC/INFO. La figura 3 muestra un esquema de todos los pasos metodológicos seguidos.

Es importante señalar que durante el proceso de las tres etapas anteriores, se mantuvieron consultas con técnicos de CATIE y de otras instituciones; con el fin de afinar la presente metodología.

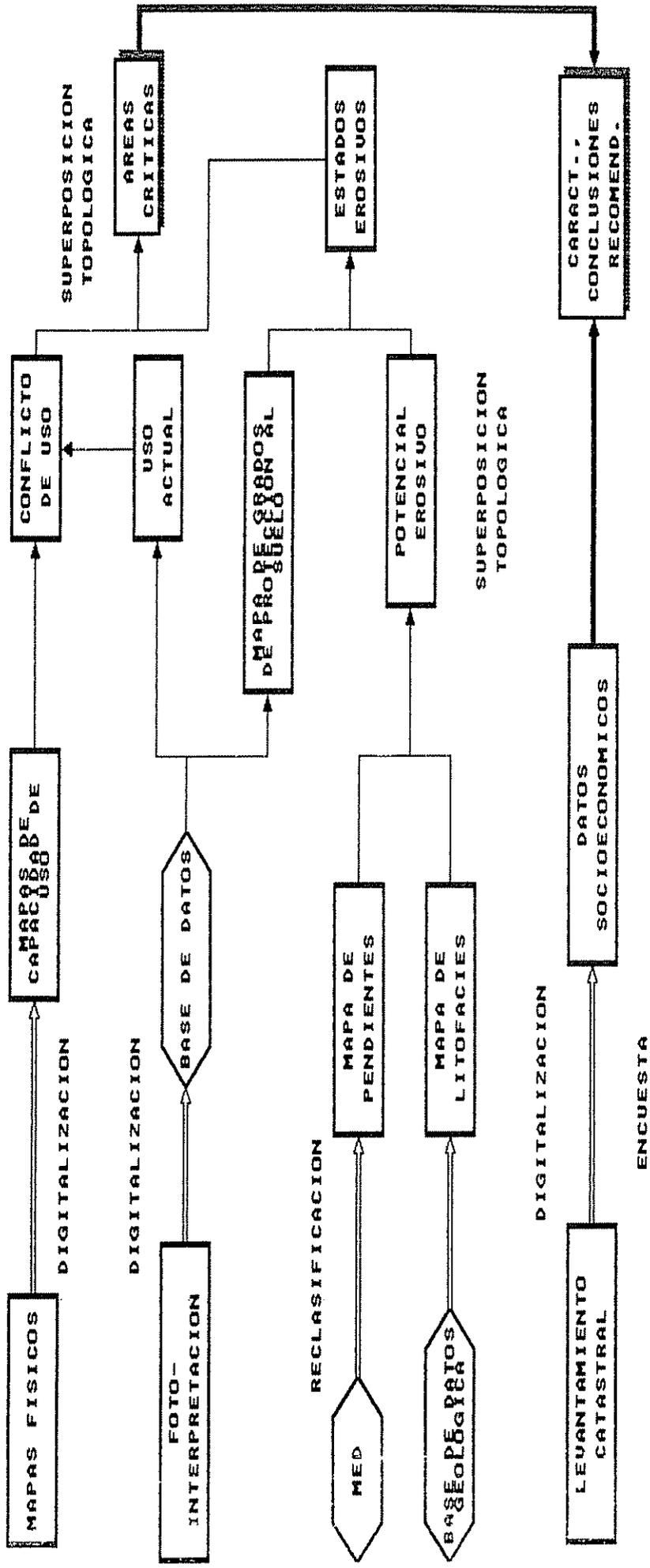


FIGURA 3: DIAGRAMA DEL PROCESO METODOLOGICO Y DEL ANALISIS ESPACIAL

## **3.2 Metodología para identificar los estados erosivos presentes en la zona de estudio**

### **3.2.1 Identificación de los grados de protección del suelo**

Para definir los estados erosivos presentes en el área de investigación, la metodología requiere saber el uso que se le esta dando al suelo; y cómo ese uso influye en el grado de protección que recibe el mismo. Lo ideal sería tener mapas digitales ya elaborados que contengan la información requerida.

Si esto no es posible, hay dos formas de obtenerla: 1) clasificación de una imagen de satélite y 2) fotointerpretación de fotografías aéreas de la zona de estudio.

En el primer caso se requiere de una imagen reciente y que tenga la menor cantidad posible de nubes. También se necesita personal con cierta experiencia en la clasificación de imágenes.

En el segundo caso también se requiere de fotografías aéreas recientes, pero el proceso de extracción de información es más fácil, para una persona sin experiencia.

#### **a) Fotointerpretación de la zona de estudio**

Como paso previo, se consultó con el IGN sobre las fotografías aéreas más recientes en la zona y se seleccionó la secuencia de fotos No 82, 83 y 84 del rollo DMA, línea de vuelo No 23, de Febrero de 1992. Esta línea de vuelo corre perpendicular al río Pacuare y engloba toda la zona de estudio en tres centros de fotografía (área útil de fotointerpretación). Posteriormente se ampliaron dichas fotografías de escala 1:60.000 a 1:30.000, con el fin de lograr un mayor detalle en el área útil de las mismas.

Una vez hecha la fotointerpretación, se efectuó el trazado de las unidades de uso de la tierra más evidentes; tales como el bosque primario, las áreas de pastos, y las áreas de vegetación mixta (bosque remanente, charrales, tacotales y otros). Dicho trazado se realizó sobre la lámina transparente, utilizando un estilógrafo calibre 0.3 para los bordes internos y uno 0.6 para los externos. Como linderos principales se usó el río Pacuare, la divisoria de aguas de la cuenca, tramos de caminos internos y de la carretera Turrialba-Siquirres.

Después de esta primera identificación se subdividió cada unidad principal, identificando los siguientes tipos de cobertura:

- **Bosque primario denso:** Este tipo de cobertura se refiere al bosque original inalterado o poco alterado por el hombre, el cual está muy presente en la zona de estudio.
- **Bosque primario con estrato herbáceo denso:** Aquí se refiere al bosque primario que ha sufrido alguna extracción de madera en años pasados; y que ahora presenta un estrato de vegetación nueva y densa, creciendo entre los árboles originales.
- **Bosque primario abierto con pastos:** Este es el remanente de bosque primario más pobre que se encontró y se refiere a zonas donde ocurrió (o ocurre) una alta extracción de madera, las cuales fueron pobladas de pastos criollos (en uso o en deshuso). Esta clasificación puede ser polémica, pues muchos considerarían que son pastizales con árboles. Sin embargo, debido a la gran cantidad de árboles dispersos observados, se optó por clasificar esta cobertura como un bosque primario remanente abierto.

- **Bosque mixto denso:** Dentro de esta clasificación se incluyen todas aquellas áreas cubiertas por los llamados corrientemente como "charrales" y "tacotales"; es decir aquellas áreas donde se removió la cubierta forestal original, se implementó algún tipo de actividad agropecuaria y posteriormente se abandonó. Luego la regeneración natural fue cubriendo estas áreas ubicándolas entre las zonas de uso agropecuario; y los bosques primarios y secundarios. Para efectos de esta categoría, el bosque mixto denso se refiere a áreas abandonadas hace algún tiempo, con vegetación densa, y muy próxima a los bosques secundarios.
- **Bosque mixto abierto:** Es igual a la categoría anterior pero con una vegetación observada menos densa. Se podría referir más a aquellos terrenos agropecuarios recientemente abandonados, los cuales ya empiezan a cubrirse de otras plantas y arbustos.
- **Bosque secundario:** Aquí simplemente se clasifican las áreas observadas de este tipo de bosque, el cual se observa en el estereoscopio como zonas con vegetación más estratificada (más heterogénea) y generalmente de un color gris más claro que el del bosque primario.
- **Plantación forestal:** Estas áreas se identificaron y clasificaron en las inspecciones de campo, pues al momento de la fotografía no existían (plantaciones no mayores a los tres años).
- **Pastizales densos:** En esta categoría se incluyeron todos los pastizales con crecimiento denso o cerrado (cubren el suelo bastante bien) y que se ubican en zonas sin degradación aparente.

- **Pastizales poco degradados:** Estos son pastos que se observan de un color más claro que los anteriores y que generalmente se ubican en zonas de laderas. La mayoría de las veces ya presentan algunos síntomas de degradación.
  
- **Cultivos permanentes mixtos:** Aquí se incluyen las áreas significativas de cultivos permanentes encontradas, durante las inspecciones de campo. Estas áreas se componen generalmente de café diversificado con algún otro cultivo, que puede ser banano, plátano, poro, pejibaye, o cacao.
  
- **Zonas no clasificadas:** Son áreas fuera de la zona de estudio y que no cuentan para el análisis.

Cada polígono trazado fue marcado con las iniciales del tipo de cobertura encontrado. Por ejemplo el bosque primario denso se marcó como "Bpa" (ver Cuadro 1). No se incluyeron en este estudio las áreas de cultivos anuales, por ser inconstantes en el espacio y en el tiempo. Además generalmente son áreas muy pequeñas que no ameritan su inclusión.

Posteriormente se realizaron dos inspecciones de campo para confirmar los resultados de la fotointerpretación. Estas inspecciones se deben planear con anticipación, especialmente en cuanto a las zonas dudosas de identificación y las rutas a seguir. En este caso se tomó la fotografía aérea y se planearon cuatro transectos<sup>1</sup>; en función a la distribución de los polígonos trazados, puntos de observación posibles y facilidades de acceso. Dichos transectos son los siguientes:

---

<sup>1</sup> Un transecto es una línea o banda estrecha y alargada (puede ser un camino), que se escoge con el objeto de hacer algún análisis ambiental o inspección de sistemas físico-biológicos (MATA et al. 1994).

- Linda Vista orientación SSE.
- Linda Vista orientación NNE.
- Bajo Tigre orientación Norte.
- Huacas (Siquirres) orientación Sur.

Para cubrir los transectos es importante llevar la fotografía aérea; la lámina con los polígonos trazados pegada a la foto (se recomienda el uso de una tabla de trabajo de campo, un plástico para proteger la lámina de la lluvia y una prensa que asegure todo el conjunto); binoculares; mapas; y la cámara fotográfica. En cada transecto se revisan las zonas dudosas, se ejecutan los cambios necesarios sobre la lámina de polígonos y se confirman todas las demás áreas.

#### **b) Georeferenciación de la fotografía aérea**

Las fotografías aéreas tienen una serie de errores y distorsiones que hay que tomar en cuenta, especialmente cuando se va a combinar la información de la foto con la de otras cartografías primarias. Lo más recomendable y preciso es georeferenciar la foto aérea con GPS (Geographical Position System). Pero que sucede cuando no se disponen de estos aparatos?; o bien cuando estos no funcionan correctamente por diversos motivos?.

Un procedimiento válido es el siguiente:

- Se tomaron los cuatro mapas 1:50.000 que abarcan la zona de estudio y se marcaron puntos que se pueden identificar en la foto y en el mapa. Para lograr esto, se utilizaron los siguientes puntos de referencia:
  - El río Pacuare, en donde se marcaron puntos en curvas del río.

- La carretera Turrialba-Siquirres y otros caminos vecinales, en donde se marcaron intersecciones y curvas.
- El río Reventazón, en donde se marcaron puntos en curvas y playones relativamente permanentes del río.

En total se ubicaron 58 puntos en los mapas y en la foto.

- Estos puntos se digitalizaron de los mapas haciendo coberturas que contienen "Label Points"; utilizando como puntos de control ("Tics") las esquinas de los mapas 1:50.000. Posteriormente en cada cobertura se hace una transformación de coordenadas de mesa a coordenadas geográficas (usando TRANSFORM); y luego se une cada cobertura en un solo archivo utilizando el comando APPEND de ARC-INFO.
- Una vez que la cobertura que contiene los 58 puntos está en coordenadas geográficas, se corre el comando UNGEN. Este comando va a crear un archivo ASCII con las coordenadas de cada elemento de la cobertura (en este caso puntos). Para calcular esto, el programa toma como referencia las coordenadas geográficas de los mapas 1:50.000. En este caso las coordenadas son Lambert, por lo que los puntos aparecerán con su identificador y sus coordenadas X,Y. Luego se imprime este listado de puntos.
- Después en ADS se creó una cobertura de "tics" o puntos de control, registrando como "tics" y en coordenadas de mesa, a cada uno de los puntos obtenidos en el paso anterior. Luego se puede hacer una digitalización sencilla de prueba con estos "tics"; posteriormente hacer una transformación; y finalmente ver como ajustan los elementos

digitalizados en la foto, con otros provenientes de otras fuentes. En este caso se hizo un mapa digital de caminos y otro del río Pacuare.

- Cada una de las anteriores coberturas (caminos y río) fue sometida a un proceso de edición (en ARCEDIT), para eliminar los errores que manualmente se producen durante la digitalización.
- Finalmente a cada cobertura se le definió la topología usando los comandos BUILD y CLEAN. Además el mapa de caminos fue categorizado en tres niveles, según el tipo de carretera identificado.

Una vez definida la base de datos de "tics", se debe de garantizar que esta sea la misma para todas las coberturas a digitalizar de la foto.

### **c) Digitalización de los resultados de la fotointerpretación**

Posteriormente se procedió a digitalizar los elementos identificados en la fotointerpretación, teniendo especial cuidado en cada detalle.

Una vez terminada la digitalización, se procede a hacer la transformación de las 58 coordenadas de mesa a las geográficas. La transformación convierte las coordenadas y traslada los elementos geográficos a una nueva cobertura con unidades de referencia reales (Lambert, UTM, o Lat/Long). En este caso como se usó una fotografía aérea se necesita usar el comando TRANSFORM, con la opción PROJECTIVE. Esta opción permite una mejor precisión en la transformación de fotografías aéreas, pues ajusta los elementos geográficos tomando en cuenta las distorsiones y errores presentes en la foto.

Un dato importante de la transformación es el error de georeferenciación o RMS. Si este es muy alto, se debe tratar de bajar mediante un proceso de prueba y error, quitando o agregando "tics" en transformaciones sucesivas. Siempre es importante digitalizar primero cualquier mapa en coordenadas de mesa; luego hacer la transformación; y anotar el error de georeferenciación o RMS que reporte el programa. De esta forma se puede controlar este error y se puede además quitar o agregar "tics" adicionales, que ayuden a disminuirlo.

Una vez que se digitalizaron los polígonos de la foto, se efectuó un proceso de edición en ARCEDIT, con el fin de eliminar los errores manuales de la digitalización y garantizar el cierre de todos los polígonos. Después se utilizaron las coberturas Caminos y Río Pacuare, para completar los bordes de algunos de ellos. Esto se hizo así porque muchos de estos polígonos limitan con parte de un camino; con la carretera Turrialba-Siquirres; o con el río Pacuare. Si se quiere precisión entre todas las coberturas es necesario copiar estas secciones y ponerlas en la cobertura de polígonos, ya que un operador no digitaliza un mismo lugar exactamente igual.

#### **d) Asignación de identificadores y etiquetas**

A la altura de esta etapa todos los polígonos están definidos y adecuadamente cerrados. Lo que se hizo posteriormente fue asignarles las mismas iniciales (por tipo de cobertura) definidas durante la fotointerpretación. Para lograr esto se hizo lo siguiente:

- En TABLES se verifica que el identificador o "ID" de cada polígono esté en cero. Si no lo está, se definen en la base de datos todos los ID igual cero y luego se corre IDEDIT para estabilizar gráficamente la nueva definición. Otra forma es ir a ARCEDIT para editar las etiquetas o "Labels" presentes en los polígonos; por lo que se seleccionan todas estas y

luego se borran. Después de salir de ARCEDIT se corre BUILD para estabilizar la topología y así se tienen en cero todos los ID de los polígonos; gráficamente y en la base de datos.

- Luego se regresó a ARCEDIT para editar la cobertura de polígonos y asignar nuevos identificadores para cada etiqueta. Para esto se utilizó el número asignado por tipo de cobertura definido en el cuadro 1. Luego en TABLES se verificó que cada polígono tenga asignado un número en la columna de ID (según el tipo de cobertura) y se agregó un ítem de texto que indicara el significado de cada número.

Como medida de precaución se recomienda definir dos nuevos ítems en la base de datos: uno numérico y otro de texto. El primero es una copia del ID definido por tipo de cobertura y el segundo es el texto que explica que significa el número. Esto se recomienda pues algunas operaciones de ARC/INFO cambian el número de ID, por lo que es útil tener una columna de respaldo.

#### **e) Preparación final del mapa digital**

En esta etapa se necesitó definir los límites del espacio geográfico de estudio, de tal forma que sean exactamente los mismos para todas los demás mapas digitales. Siempre es importante definir el mismo espacio geográfico de estudio, para todos los mapas digitales que se vayan a utilizar. De esta manera se obtiene una mayor precisión en el análisis espacial, por lo que todas las distribuciones de áreas, de las diferentes combinaciones de variables, estuvieron referidas a una misma cantidad de área total (89.25 km<sup>2</sup>). Para hacer esto se hizo lo siguiente:

- Se tomó el mapa digital del borde de la cuenca y se trazó en ARCEDIT un borde inferior en línea recta, con orientación oeste-este, de tal forma que separe la zona de estudio del resto de la cuenca.
- Con los elementos definidos anteriormente se elaboró un nuevo mapa digital, que sería el borde de la cuenca en la zona de estudio. Esta nueva cobertura será la que se utilizará, para definir los límites de todas las coberturas que se usarán en el análisis espacial.

Una vez hecho lo anterior, se tomó el mapa de tipo de coberturas y se cortó con el de borde de la cuenca usando el comando CLIP. Para que los polígonos cercanos al borde cierren completamente, deben de extenderse un poco más del límite definido por el mapa digital de borde.

Al final de estas cinco etapas se elaboraron tres mapas digitales: el de Caminos, el de Río Pacuare y el de Tipos de Cobertura Presente. Todos ellos digitalizados de la foto aérea, verificados o ajustados con las demás fuentes y con la misma base de "tics" (33 en total). El mapa de Tipos de Cobertura Presente se presenta en la figura 4 y fue el origen de dos coberturas más importantes: el mapa de grados de protección del suelo y el mapa de uso actual de la tierra.

- BPa
- BPb
- BPc
- BMa
- BMb
- BSC
- PF
- Pa
- Pb
- CP
- NC
- ▨ Rio

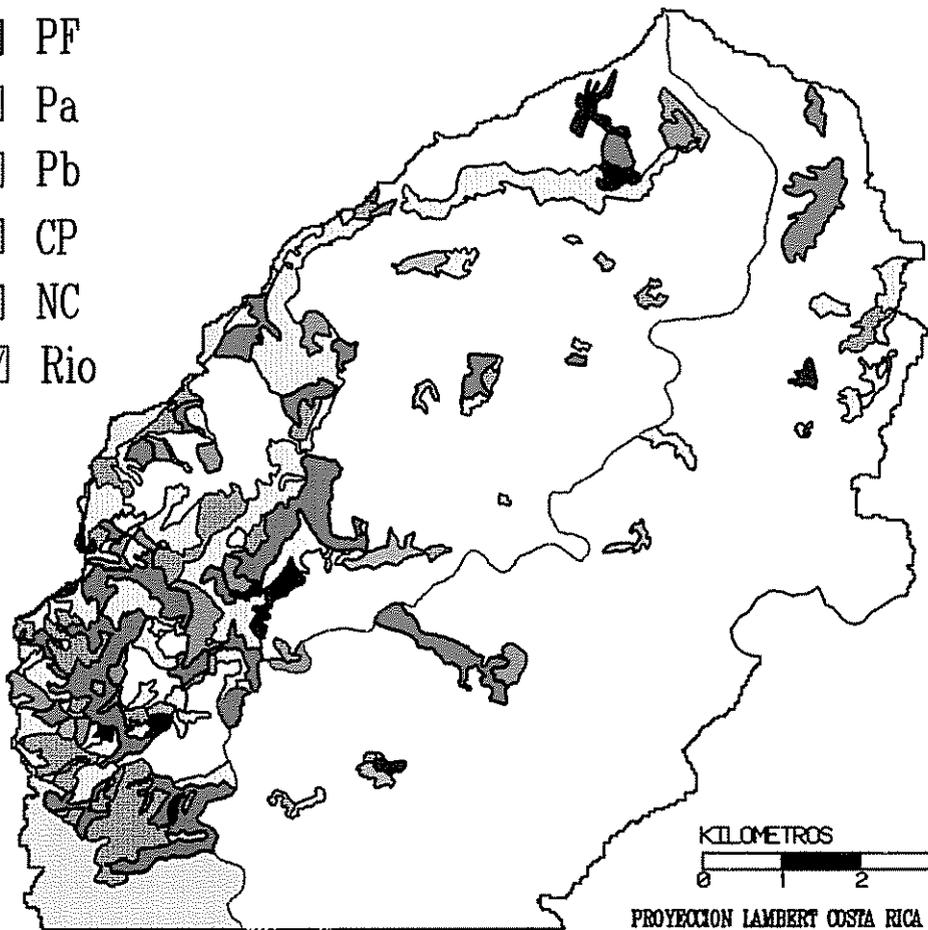


FIGURA 4: TIPOS DE COBERTURA VEGETAL  
 AREA DE ESTUDIO, RIO PACUARE

**f) Identificación de los grados de protección del suelo y uso actual de la tierra**

Del mapa digital de Tipos de Cobertura Presentes se obtienen dos más: el de Grados de Protección del Suelo y el de Uso Actual de la Tierra. Para lograr esto se hizo lo siguiente:

- Se hizo una copia del mapa de tipo de coberturas y se trabajó en esta definiendo en TABLES dos items adicionales: uno de texto referido al grado cualitativo de protección y otro numérico para el identificador. La asignación de cada valor del item esta especificado en el cuadro 1.
- Posteriormente se obtuvo el mapa digital de grados de protección del suelo utilizando el comando DISSOLVE. Este comando une los polígonos en función de un mismo item y puede poner el resultado en una nueva cobertura. En este caso se hizo en función del identificador del grado de protección del suelo.
- Para obtener el mapa digital de uso actual de la tierra se hicieron los mismos pasos anteriores, solo que definiendo y asignando los nuevos items de la siguiente forma:

<b>Uso actual</b>		<b>Identificador</b>
Bosque primario (las tres categorías)	(BP)	1
Bosque secundario	(BS)	2
Bosque mixto (las dos categorías)	(BM)	3
Plantación forestal	(PF)	4
Pastizales (las dos categorías)	(P)	5
Cultivos permanentes	(CP)	6
Areas no clasificadas	(NC)	7

**CUADRO 1: INDICES DE PROTECCION AL SUELO SEGUN EL TIPO DE COBERTURA VEGETAL**

NUMERO	TIPO DE COBERTURA VEGETAL	INDICE DE PROTECCION AL SUELO	GRADO CUALITATIVO DE PROTECCION	IDENTIF.
1	Bosque primario denso (BPa)	1	Muy alto	1
2	Bosque primario con estrato herbaceo denso (BPb)	0.8 a 0.9	Alto	2
3	Bosque primario abierto intercalado con pastizales (BPc)	0.4 a 0.79	Medio	3
4	Bosque mixto denso (BMa)	0.8 a 0.9	Alto	2
5	Bosque mixto abierto (BMb)	0.4 a 0.5	Medio	3
6	Bosque secundario (BSC)	0.8 a 0.9	Alto	2
7	Plantacion forestal (mayor a tres anos) (PF)	0.8 a 0.9	Alto	2
8	Pastizales densos (Pa)	0.8 a 0.9	Alto	2
9	Pastizales poco degradados (Pb)	0.4 a 0.5	Medio	3
10	Cultivos permanentes mixtos (CP)	0.3 a 0.7	Medio	3
11	Areas no clasificadas (NC)	-	-	4

Fuente: Elaboracion propia con base en la metodologia del CIDIAT. 1995

### 3.2.2 Identificación del potencial erosivo

Para esta etapa se necesitaron dos cartografias primarias: el mapa digital geológico de la cuenca del río Pacuare y el modelo de elevación digital (MED) de la misma cuenca. Las cartografias resultantes obtenidas son: el mapa digital de unidades litológicas (o litofacies); el mapa digital de pendientes; y el mapa digital de niveles de erodabilidad o potencial erosivo. Los pasos a seguir fueron:

#### a) Mapa digital de unidades litológicas o litofacies

El mapa de formaciones geológicas de la zona de estudio se presenta en la figura 5, y se obtuvo del mapa digital geológico de la cuenca del Pacuare. Dicho mapa digital fue elaborado en ARC/INFO a partir de una base digital en AUTOCAD, la cual fue hecha en el Departamento de Geología del ICE. Del mapa digital representado en la figura 5 se genera el mapa de litofacies, agrupando las formaciones por tipo de roca dominante.

- Rio Banano
- Suretka
- Intrusivo
- Tuis
- Volcanico
- Qal
- Uscari
- Deslizamientos
- Senosri

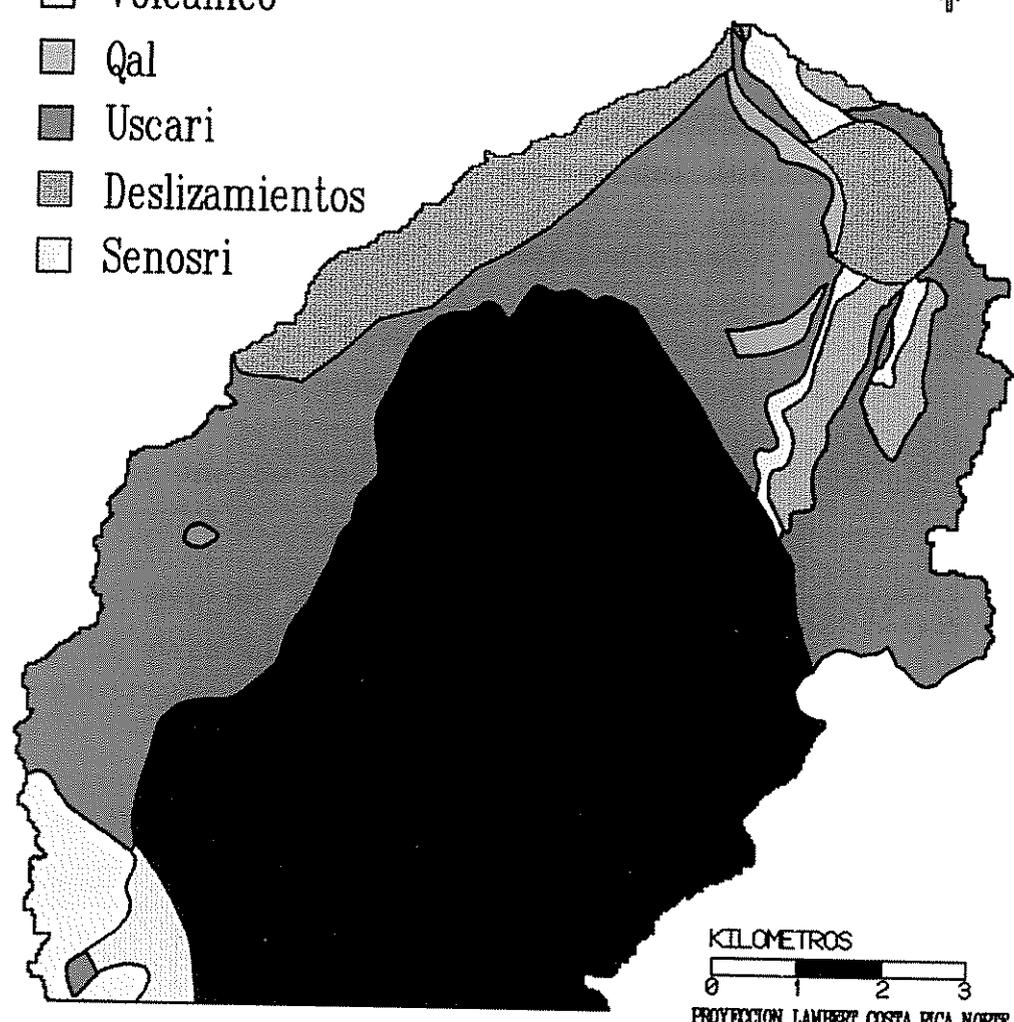


FIGURA 5: FORMACIONES GEOLOGICAS

AREA DE ESTUDIO, RIO PACUARE

En esta agrupación se usó como guía la metodología de Carrera, et al (1994) y se contó con el asesoramiento de geólogos conocedores de la cuenca. Los pasos a seguir son los siguientes:

- Se tomó primero el mapa digital geológico de la cuenca y se cortó con el borde del área de estudio (usando el comando CLIP); con el fin de procesar la información que solamente interesa.
- Con el asesoramiento de geólogos del ICE se confirmó la presencia en la cuenca, de cada formación geológica registrada en el mapa digital. También se identificaron las rocas dominantes para cada formación y posteriormente se agruparon en unidades litológicas (ver cuadro 2).

Para cada una de estas unidades se definió un número identificador.

- Luego en TABLES se definieron dos nuevos "items": uno numérico para el identificador y otro de texto para describir la unidad litológica.

**CUADRO 2: CARACTERIZACION LITOLOGICA**

FORMACION	LITOLOGIA	IDENTIF.
Guayacan	Lavas jovenes (Basaltos alcalinos)	1
Intrusivos	Rocas igneas	1
Senosri	Calcarenitas y Calcilutitas	2
Tuis	Brechas siliciclasticas. Conglomerados y Areniscas siliciclasticas	3
Uscari	Calcilutitas margas	4
Rio Banano	Conglomerados	4
Suretka	Conglomerados	4
Deslizamientos evidentes	Coluvios	5
Aluviones recientes	Aluvion	5

Fuente: Elaboracion propia con asesoramiento del Departamento de Geologia  
 Proyecto Angostura, ICE. 1995

## **b) Mapa digital de pendientes**

- Como el modelo de elevación digital (MED) para toda la cuenca es un archivo bastante grande, se procedió a separar una ventana (subimágen) en IDRISI que contenga el área de estudio. Para calcular una ventana suficientemente grande, se tomó el mapa digital de borde de la zona de estudio y se convirtió a un formato vectorial compatible con IDRISI.
- Se sobrepuso este mapa vectorial sobre la imagen del MED en IDRISI y con el ratón se definieron manualmente dos esquinas de una ventana: superior izquierda e inferior derecha. Para cada esquina se anotó el número de fila y el número de columna. Es importante asegurarse visualmente, de que la ventana contiene suficientemente a la zona de interés.
- Con esta ventana se corta el MED usando el comando WINDOW en IDRISI, generando así un nuevo archivo MED de trabajo. Posteriormente se anotaron los siguientes datos de este MED: X mínimo; Y mínimo; número de columnas; número de filas; y resolución o tamaño de pixel.
- El nuevo MED definido en el paso anterior se procesa usando el comando SURFACE, para generar las pendientes por porcentajes.
- La imagen resultante va a contener una gran cantidad de pixeles con valores diferentes, por lo que fue necesario hacer cuatro filtrados (usando el comando FILTER) para uniformizar adecuadamente la información. La opción utilizada fue la mediana.

- La imagen filtrada se reclasificó (usando RECLASS) para agrupar las pendientes en cinco rangos, establecidos por la metodología del CIDIAT (ver cuadro 3).
- Esta nueva imagen con rangos de pendientes se convirtió a un formato ERDAS (usando ERDIDRIS) y luego este resultado se pasó a un formato ARC/INFO (usando GRIDPOLY). Finalmente la cobertura resultante (mapa digital) se cortó con la cobertura de borde de la cuenca (usando CLIP), para obtener el mapa digital de pendientes de la zona de estudio, categorizado según la metodología del CIDIAT.

**CUADRO 3: RANGOS DE PENDIENTES**

RELIEVE	RANGO	IDENTIF.
Suave	De 0 a 12%	1
Moderado	De 12 a 25%	2
Fuerte	De 25 a 50%	3
Muy fuerte	De 50 a 75%	4
Escarpado	Mayor a 75%	5

Fuente: Diagnostico Fisico Conservacionista en  
Cuencas Hidrograficas CIDIAT  
Venezuela, 1984

**c) Mapa digital de niveles de erodabilidad o potencial erosivo**

Antes de pasar a describir los pasos necesarios para obtener esta cartografía resultante, es importante referirse a lo que es el análisis espacial y al papel clave que juega en la presente metodología.

El análisis espacial es lo que permite crear nuevos datos que nunca han sido mapeados. También permite combinar múltiples temas, con el fin de descubrir nuevas relaciones espaciales entre los mismos y visualizar mejor su complejidad. Además permite identificar las tendencias de los datos y facilita el proceso de toma de decisiones. Todo esto es muy importante para resolver problemas relacionados a variables biofísicas, culturales y socioeconómicas.

Una de las funciones espaciales más comunes es la superposición topológica de polígonos, la cual facilita analizar múltiples variables, por medio de combinaciones de los elementos geográficos y sus atributos. Esto permite crear nuevas unidades geográficas, que pueden ser consultadas como una sola unidad, que a su vez contienen las características de todas las unidades individuales que las crearon. La superposición topológica produce nuevas relaciones entre los datos, que permite una toma de decisiones más adecuada.

Ahora bien, los pasos a seguir para obtener el potencial erosivo son:

- Antes de hacer la superposición topológica, es necesario garantizar que las dos coberturas están asignadas con identificadores, que categoricen las dos variables de interés: rangos de pendientes y unidades litológicas. Para asegurarse de esto, se seleccionó en TABLES cada cobertura por aparte y se hizo una consulta sobre el número de polígonos con identificador igual a cero. Si todo está bien, el único que cumple esta condición es el polígono universal.
- Posteriormente se hizo la superposición topológica (usando UNION) del mapa de pendientes y de litofacies. Luego se revisó la presencia de "slivers" consultando en TABLES por aquellos polígonos que tengan identificador igual a cero, en

cualquiera de las dos variables que se acaban de combinar. El único que puede cumplir esa condición es el polígono universal.

- Si aparecen "slivers", una forma práctica de eliminarlos es con el comando ELIMINATE. En esta aplicación hay que indicar las condiciones que sólo cumplen los "slivers". Para hacer esto se indica una reelección por identificador igual a cero, en cualquiera de las dos variables combinadas.
  
- Luego de eliminar los "slivers" en TABLES se definieron dos nuevos "items", para la cobertura resultante de la superposición. Uno de estos "items" es numérico y el otro es texto; ambos definidos en la matriz de doble entrada, en donde se establecen teóricamente los diferentes niveles de erodabilidad (ver cuadro 4).
  
- Finalmente se usó el comando DISSOLVE, para que agrupe en una nueva cobertura a los polígonos que tengan igual identificador numérico, para el nivel o riesgo de erodabilidad.

**CUADRO 4: NIVELES DE ERODABILIDAD (POTENCIAL EROSIVO O RIESGO)**

PENDIENTES	SIMBOLO LITOLÓGICO				
	1	2	3	4	5
Suave (0-12%)	MB	MB	B	M	M
Moderada (12-25%)	B	B	M	A	A
Fuerte (25-50%)	B	M	A	A	MA
Muy Fuerte (50-75%)	M	M	A	MA	MA
Escarpado (> 75 %)	A	A	MA	MA	MA

Donde:                      Código

MB: Muy bajo              1

B: Bajo                      2

M: Moderado              3

A: Alto                      4

MA: Muy alto              5

Fuente: Elaboración propia basado en la metodología de Carrera et al (1991) con el asesoramiento del Departamento de Geología del Proyecto Angostura ICE. 1995

### 3.2.3 Identificación de los estados erosivos presentes

En esta etapa se utilizó como cartografía primaria el mapa digital de grados de protección del suelo y el de nivel o riesgo de erodabilidad, para obtener el mapa de estados erosivos presentes en la cuenca. Los pasos seguidos para obtener este resultado fueron:

- Se verifica que cada cobertura este asignada con identificadores que categoricen las dos variables de interés: grados de protección y nivel de erodabilidad.
- Se efectuó la superposición topológica de las dos coberturas.

- En TABLES se definieron los dos nuevos "items" para la cobertura resultante de la superposición. Para esto se siguió la matriz de doble entrada, en donde se definen teóricamente los estados erosivos presentes (ver cuadro 5).
- Con el comando DISSOLVE se agruparon los polígonos que tuvieron igual identificador numérico, para los estados erosivos presentes en la cuenca.

**CUADRO 5: IDENTIFICACION DE LOS ESTADOS EROSIVOS PRESENTES**

POTENCIAL EROSIVO	GRADO CUALITATIVO DE PROTECCION					Áreas no clasificadas
	Muy alto	Alto	Medio	Bajo	Muy bajo	
Muy bajo	MB	MB	MB	B	B	NC
Bajo	MB	MB	B	M	G	NC
Medio	MB	B	M	G	G	NC
Alto	B	M	M	MG	MG	NC
Muy alto	B	M	G	MG	MG	NC

<b>Donde:</b>	<b>Código</b>
MG: Estado erosivo muy grave	1
G: Estado erosivo grave	2
M: Estado erosivo medio	3
B: Estado erosivo bajo	4
MB: Estado erosivo muy bajo	5
NC: Áreas no clasificadas	6

Fuente: Elaboración propia con base en la metodología de Carrera et al (1991). 1995

### 3.3 Metodología para identificar los conflictos de uso

Para identificar estos conflictos de uso se necesita conocer previamente, la capacidad de uso de la tierra y su uso actual. El primer término se refiere a la capacidad inherente de la tierra, que permite determinadas actividades productivas, sin alterar sus características y sus cualidades naturales. El segundo término se refiere a como la tierra está siendo utilizada en la actualidad.

Al comparar el uso actual con la capacidad de uso se obtienen tres posibles situaciones:

- **Uso correcto o pleno uso**, que es cuando el uso actual y la capacidad de uso coinciden.
- **Subuso**, que es cuando el uso actual es menos intensivo que la capacidad de uso.
- **Sobreuso**, que es cuando el uso actual es más intensivo que la capacidad de uso.

Para desarrollar esta metodología se utilizaron como cartografía primaria los mapas de capacidad de uso de tierras forestales de Costa Rica, a escala 1:50.000, elaborados por el Centro Científico Tropical para Fundación Neotrópica; y el mapa digital de uso actual de la tierra, elaborado en la sección 3.2.1

Estos mapas de capacidad de uso presentan la tierra agrupada en cuatro categorías: tierras agropecuarias (Clase A); tierras para plantaciones forestales o cultivos permanentes (Clase VI); tierras para el manejo del bosque o regeneración natural (Clase VII) y tierras para protección (Clase VIII). La metodología de clasificación utilizada fue la "Metodología para la Determinación de la Capacidad de Uso de las Tierras de Costa Rica (MAG-MIRENEM, 1991); y cada mapa indica las limitaciones de las unidades a nivel de subclase. La calidad de esta información es aceptable.

La cobertura resultante fue el mapa digital de conflictos de uso. Las etapas que se realizaron fueron:

- Se tomaron los cuatro mapas físicos de capacidad de uso y se revisaron y corrigieron en consultas con funcionarios de ambas instituciones.

- Posteriormente se unieron con cinta adhesiva y se pegaron a la mesa digitalizadora. Luego se trazó con marcador el borde aproximado de la cuenca de estudio, con el fin de que sirva como guía para la digitalización.
  
- Se digitalizaron completamente todos los polígonos contenidos en el área bajo estudio y todos aquellos que tuvieran alguna sección dentro del área. Posteriormente se efectuó un proceso de edición en ARCEDIT, para corregir los errores manuales de la digitalización.
  
- Una vez terminados los pasos anteriores, se verificó en TABLES que todos los polígonos tuvieran identificadores (ID) iguales a cero. Luego se regresó a ARCEDIT y se asignaron manualmente los ID a cada polígono, según la categorización definida en el cuadro 6. Esta categorización es la misma que viene impresa en los mapas físicos.
  
- Una vez asignados los Id se definieron en TABLES dos "items": uno numérico para el identificador y otro de texto para anotar la categoría de uso correspondiente. El identificador es el mismo número que el ID. Es importante hacer y trabajar con esta especie de respaldo, cuando se manejan códigos numéricos referidos a categorías de polígonos. Si se confía solo en la columna de Id, se corre el peligro de perder la numeración correcta, cuando se corren ciertas aplicaciones que modifican los Id automáticamente (como CLIP).

**CUADRO 6: CATEGORIAS DE CAPACIDAD DE USO**

IDENTIF. SUBCLASE		DESCRIPCION	APTITUD
1	A	Clase agropecuana	Produccion agropecuaria
2	VI4zv	Clase seis, con pendiente de 15 a 30%, y con limitaciones de zona de vida	Forestal o agroforestal, con obras de conserv. de suelos
3	VI4tzv	Igual a la clase anterior pero con limitantes de textura y zona de vida	Idem
4	VI4tpin	Igual a la clase anterior pero con limitantes de textura, pedregosidad y neblina	Idem
5	VI4tzvm	Igual a la clase anterior pero con limitantes de textura, zona de vida y neblina	Idem
6	VI4tzvmv	Igual a la clase anterior pero con limitantes de zona de vida, neblina y viento	Idem
7	VI4tpizv	Igual a la clase anterior pero con limitantes de textura, pedregosidad y zona de vida	Idem
8	VI5	Clase seis, con pendiente de 30 a 50%	Idem
9	VI5t	Igual a la clase anterior pero con limitantes de textura	Idem
10	VI5tn	Igual a la clase anterior pero con limitantes de textura y neblina	Idem
11	VI5ppi	Igual a la clase anterior pero con limitantes de profundidad y pedregosidad	Idem
12	VI5tpi	Igual a la clase anterior pero con limitantes de textura y pedregosidad	Idem
13	VI5tpin	Igual a la clase anterior pero con limitantes de textura, pedregosidad y neblina	Idem
14	VI6	Clase seis, con pendiente de 50 a 75%	Idem
15	VII6	Clase siete, con pendiente de 50 a 75%	Manejo del bosque o regeneracion natural
16	VII6t	Igual a la clase anterior pero con limitantes de textura	Idem
17	VII6tn	Igual a la clase anterior pero con limitantes de textura y neblina	Idem
18	VII6ppi	Igual a la clase anterior pero con limitantes de profundidad y pedregosidad	Idem
19	VII6tpi	Igual a la clase anterior pero con limitantes de textura y pedregosidad	Idem
20	VIII7	Clase ocho, con pendiente mayor a 75%	Proteccion
21	VIII7t	Igual a la clase anterior pero con limitantes de textura	Idem
22	VIII7tpi	Igual a la clase anterior pero con limitantes de textura y pedregosidad	Idem
23	VIII7ppi	Igual a la clase anterior pero con limitantes de profundidad y pedregosidad	Idem

Fuente: Guia para la lectura e interpretacion del mapa de uso de las tierras forestales de Costa Rica. Centro Científico Tropical para Fundacion Neotropical. 1994.



### 3.4 Metodología para determinar los riesgos de degradación

Esta degradación se refiere al desgaste que sufre la superficie de un terreno, por causa de procesos físicos que pueden ser originados por el hombre. A este fenómeno se le conoce como geodegradación (Mata, et al. 1994).

Esta etapa consiste sencillamente de una superposición entre el mapa digital de estados erosivos (obtenido en la sección 3.2.3) con el de conflictos de uso (obtenido en la sección anterior), para obtener un mapa digital de riesgos de degradación.

Los procedimientos y cuidados a seguir son los mismos a los de las anteriores secciones, y la asignación de "items" finales se define en la matriz de doble entrada de riesgos de degradación (ver cuadro 8).

Al finalizar esta etapa se obtienen las áreas críticas reflejadas en los diferentes riesgos de degradación.

**CUADRO 8: RIESGOS DE DEGRADACION EN LA ZONA DE ESTUDIO**

CONFLICTOS DE USO	ESTADOS EROSIVOS				Áreas no clasificadas
	Grave	Medio	Bajo	Muy bajo	
Pleno uso	B	B	MB	SR	NC
Sobreuso	A	A	M	B	NC
Subuso	M	M	B	MB	NC
Áreas no clasificadas	NC	NC	NC	NC	NC

<b>Donde:</b>	<b>Código</b>
SR: Sin riesgo	1
MB: Muy bajo	2
B: Bajo	3
M: Medio	4
A: Alto	5
NC: Áreas no clasificadas	6

### **3.5 Metodología para obtener información socioeconómica del área de estudio.**

Para este estudio se han seleccionado la tenencia de la tierra, el valor de la propiedad y el tipo de producción en la misma; como las variables socioeconómicas a considerar. La razón es sencilla: si se quiere caracterizar mejor a las áreas críticas de manejo, para luego plantear esquemas que orienten un ordenamiento más eficiente de los recursos naturales; es necesario conocer la realidad económica de la zona, como producto de la actividad humana presente.

Se necesita conocer el grado de distribución de la tierra, para que el planificador sepa con que tipo de propietario hay que tratar (pequeño, mediano, o grande). En función del tipo de dueño, de su grado de escolaridad y de su nivel de organización, se deben plantear los planes y estrategias futuros.

También es necesario conocer de que actividades económicas vive la gente de la zona; y relacionar dichas actividades con un posible subuso, sobreuso o pleno uso de los recursos naturales. Finalmente el valor de la propiedad daría una idea, de la apreciación subjetiva del productor hacia su tierra, en función al grado de esfuerzo invertido en ella.

Es importante recordar que cualquier esfuerzo futuro en ordenar la situación actual implica cambios; cambios que se deben plantear tomando en cuenta el tipo y tamaño de productor y el grado de esfuerzo invertido por él.

Ahora bien, información socioeconómica como la anterior no siempre es fácil de obtener. Generalmente se requiere de información primaria y de la secundaria disponible. Antes de plantear los pasos seguidos para obtener esta información, es importante analizar dos problemáticas existentes en Costa Rica: la disponibilidad de información catastral y la determinación del valor de la tierra.

### 3.5.1 La problemática de la información catastral

El determinar la tenencia de la tierra en Costa Rica puede ser bastante difícil de hacer, debido a la ausencia de información básica sistematizada. Lo que existe en el país es una institución que se llama **Registro Nacional**, el cual guarda diferentes tipos de información, entre las que está la referente a las propiedades en el país. Sobre esto, el Registro Nacional dispone de dos fuentes de información:

- 1) La sección de **Registro Público de la Propiedad**, en donde se encuentra toda la información relativa a las propiedades.
- 2) La sección de **Catastro Nacional**, en donde se guardan los planos físicos de las propiedades, archivados por cantones y distritos.

En el primer caso se puede obtener un informe registral, el cual aporta los siguientes datos: provincia (partido) en donde se encuentra la propiedad; número de matrícula (folio real); tipo de uso; ubicación política; linderos; área; número de plano; antecedentes de dominio; nombre del propietario físico o jurídico; número de cédula; clase de derecho; anotaciones sobre la finca; y gravámenes.

En el segundo caso, los planos brindan información sobre la forma y localización geográfica y política (partido) de la propiedad. Los planos también aportan información sobre los linderos, uso de la tierra; tabla de azimuts y distancias; el nombre del propietario físico o jurídico; número de cédula; área; número de plano y de finca; y folio real.

Esta dicotomía institucional representa el primer y más importante problema para adquirir información, pues ambas secciones funcionan física y técnicamente separadas. Esto significa que existe un problema de automatización y control cruzado de la información, lo que implica que lo que se reporta

en el Registro Público no necesariamente se reporta en el Catastro. El resultado es simple: la información catastral no se encuentra actualizada, con respecto a las últimas transacciones de tierra.

Por otra parte existe un limitante: ambas secciones trabajan bajo la filosofía de que hay un intermediario que brinda la información. En el caso del Registro de la Propiedad, el intermediario es el notario que inscribe la propiedad. En el caso del Catastro el intermediario es el topógrafo o agrimensor.

Ambos profesionales son necesarios, pues no es funcional que el Registro tenga su propio contingente de abogados y topógrafos. Sin embargo esto no quita el hecho de que son intermediarios y que se debe de asumir como cierta la información que aporten. El Registro no tiene la capacidad técnica para decidir sobre las modificaciones de las propiedades, ni siquiera a nivel de propietario.

Un tercer elemento en contra es de tipo cultural. Es común oír entre los propietarios la expresión "mi finca", cuando en realidad pueden ser varias las fincas; las cuales pueden tener escrituras individuales sin que se hayan oficialmente presentado al Registro. También se da el caso de que las diferentes fincas estén a nombre de diferentes dueños, lo que dificulta saber la relación que ha habido entre ellos.

Por otra parte el presentar la escritura al Registro no es suficiente, pues existe todo un procedimiento que muchas veces no se cumple. Posterior a la presentación de la escritura, se debe pagar un impuesto del 3% del valor de la propiedad. Luego viene un proceso de revaloración de la misma y una descripción de todas las anotaciones, que informan sobre todos los antiguos y actuales propietarios que han transado con la propiedad.

Dentro de una sociedad como la costarricense, evasioneista en todo sentido y sin cultura fiscal; es claro entender porque la mayoría de las veces no se cumplen todos los requisitos del trámite de inscripción; especialmente cuando se trata de fincas con valor reportado al Ministerio de Hacienda, muy por debajo del valor real. El resultado es también muy simple: el trámite queda inconcluso; el Registro no hace nada y no puede hacer nada; y finalmente se entra en una especie de letargo registral.

Tomando en consideración los tres anteriores aspectos, un usuario del Registro que quiera obtener información catastral, debe de conocer por lo menos el nombre del propietario (físico o jurídico); el número de cédula; el Partido (provincia) donde se encuentra la finca; y si es posible el número de finca.

Si todo lo anterior está correcto, con esta información se llega al Folio Real, con el cual se puede obtener un informe registral. En dicho informe se puede obtener el número de plano. Con este número se va al Catastro, donde se verifica el plano que se busca. Durante este procedimiento puede suceder que el número de plano no esté en el folio real, lo que impediría su localización en Catastro.

También puede ser que el plano que se encuentre este totalmente desactualizado, lo que obligaría a realizar ajustes. Estos se tendrían que hacer en conjunto con las personas que más enteradas estén de los cambios recientes, lo cual no es fácil de realizar.

El siguiente ejemplo puede ayudar a ilustrar toda la problemática anterior:

"Un señor A es propietario real de una finca de ganado de 500 ha. Sin embargo en el Registro aparece a su nombre sólo una finca original de 250 ha. 200 ha adicionales las compró tres años atrás, pero las registró a nombre de la sociedad B, de la cual el

señor A forma parte. Las últimas 50 ha las adquirió del señor C (con todo y escritura) pero no las inscribió ante el registro.

El resultado es el siguiente: El estudio registral indica que el señor A es sólo propietario de 250 ha. De las otras 200 ha, sólo se sabrá que pertenecen a una sociedad B y las 50 restantes aparecerán a nombre del señor C".

Todo el anterior análisis lleva a pensar en buscar formas más prácticas y rápidas, para obtener la información catastral necesaria. Si se hubieran realizado estudios registrales normales, el resultado no sería preciso, la información no sería suficiente, el tiempo invertido habría sido mucho mayor, y el costo posiblemente también.

### **3.5.2 La problemática del valor de la tierra**

El valor de la tierra resulta también bastante difícil de determinar, pues en Costa Rica no existe un patrón o metodología fija para valorar la tierra. De hecho, por lo general los datos reportados al Registro Nacional están sub o sobrevalorados, dependiendo del interés de cada quién (compra y venta de propiedades), o dependiendo del uso que se le vaya a dar a la información reportada (pago de impuestos por ejemplo).

Es difícil decir que características toman en cuenta los corredores de bienes raíces o los peritos bancarios, a la hora de valorar una propiedad rural. Se pueden tomar muchas o pocas, dependiendo del evaluador, de la localización de la propiedad y el propósito de la valoración. Por otra parte, el dueño de la propiedad no es la mejor fuente de información, pues es usual que se tienda a la especulación de precios, ante las posibilidades de venta.

A pesar de lo anterior, en este estudio se valoró la propiedad en función de su uso actual y de la infraestructura presente. Aunque la información es muy subjetiva, se utiliza sólo como una referencia del precio de mercado, en el momento de hacer la consulta.

### **3.5.3      Recolección      de      la      información                  socioeconómica**

Para recolectar de forma rápida los datos socioeconómicos de cada propiedad, se pensó en hacer una encuesta rápida y sencilla. Para realizar esto hay que tomar en cuenta lo siguiente:

- 1) En general a los agricultores les molesta o les aburre encuestas muy largas y tediosas. Se corre el peligro de que no quieran contestar, o que den datos falsos.
- 2) Encuestas muy sofisticadas podrían confundir al agricultor. Aunque el campesino costarricense tiene por lo general un nivel escolar bajo, no se trata de un analfabeto; por lo que es mejor preguntar en su propio lenguaje, de forma clara, consisa y directa.
- 3) El número de variables involucradas en determinar el tipo de producción presente en la finca, no debe de producir una encuesta muy larga.
- 4) Se ha abusado del uso de la encuesta entre los campesinos, por lo que muchas veces estos responden con poco interés a lo que se les pregunta.

La encuesta que se utilizó en este estudio presenta tres categorías de variables: 1) Descripción del activo; 2) Unidad de medida del activo; 3) Cantidad del activo.

Dentro de la primera categoría se pregunta por los distintos usos, tales como bosque primario, bosque secundario, cultivos permanentes, cultivos anuales, pastos; y algunas subdivisiones de los mismos, como pastos criollos o mejorados. Posteriormente se pregunta sobre si la finca tiene o no obras de conservación de suelo; fuentes de agua; construcciones e instalaciones; maquinaria y equipo; y un detalle del número y tipo de animales de cría que se tienen.

Por último se preguntó por el valor de la propiedad, desde el punto de vista de opción de compra. Esto significa que se preguntó al dueño de cada finca cuánto dinero estaría dispuesto a pagar, si comprara su propia propiedad. Dentro de lo posible esta información se comprobó con otros vecinos.

Una vez considerado todo lo anterior, se procedió a obtener información socioeconómica de la siguiente forma:

- Como se mencionó al principio de este capítulo, primero se contactó al agente local de extensión agrícola del MAG y con él se analizó la viabilidad de realizar esta etapa. Con él se realizaron visitas de contacto a los líderes locales y se expuso la naturaleza del proyecto ante los grupos organizados.
- Con un equipo de trabajo formado por el agente local de extensión y al menos un líder local de cada comunidad, se identificó en el campo cada finca. En compañía de cada propietario (dentro de lo posible) se trazaron los linderos de la misma en la fotografía aérea. En esta etapa se identificó también el nombre de cada propietario.
- Una vez localizado cada finquero o administrador de cada propiedad, se aplicó una encuesta de producción-valoración (ver cuadro 9) con el fin de recabar la

**CUADRO 9: ENCUESTA DE PRODUCCION Y VALORACION DE LA TIERRA**

**CENTRO AGRONOMO TROPICAL DE INVESTIGACION Y ENSEÑANZA (CATIE)**  
**Estudio de uso y valoracion de la tierra**

**Sector:** \_\_\_\_\_

**Numero:** \_\_\_\_\_

**Nombre del propietario:** \_\_\_\_\_

**Area total:** \_\_\_\_\_

**Tipo de tenencia:** \_\_\_\_\_

DESCRIPCION DE LA TIERRA	CANTIDAD	UNIDAD	VALOR	VALOR TOTAL
Terrenos con pastos mejorados				
Terrenos con pastos criollos				
Terrenos con hortalizas				
Terrenos con cultivos perennes				
Terrenos con bosque natural				
Terrenos con bosque secundario				
Plantacion forestal				
Especies:				
Charrales y tacotales				
Mejoras en terrenos:				
Terrazas				
Drenajes				
Otros:				
Fuentes de agua:				
Construcciones e instalaciones:				
Casas				
Galeron-bodega				
Caminos internos				
Cercas				
Animales de cria o trabajo				
Caballos				
Toros				
Vacas				
Torettes				
Termeros < 1 año				
Otros				
Maquinaria y equipo				
Insumos almacenados:				
Productos terminados:				

**DISPONIBILIDAD GENERAL DE COMPRA:** \_\_\_\_\_

información necesaria. Esta etapa se hizo simultáneamente con la anterior. Si por alguna razón no fue posible entrevistar al dueño, se le consultó a vecinos que conocen bien la propiedad de interés y las actividades productivas que se desarrollan en ella.

- Se digitalizó el trazado de la fotografía siguiendo los cuidados y consideraciones anteriormente descritos. La encuesta se almacenó en una base de datos compatible con ARC/INFO (FOXPRO). Cada propiedad digitalizada y su respectiva encuesta tienen un identificador numérico común.

### **3.6 Metodología para integrar la información biofísica con la socioeconómica**

- Del mapa digital de riesgos de degradación se seleccionaron como críticas, aquellas áreas que presentan un nivel alto y medio de riesgo de degradación. Utilizando el comando RESELECT se seleccionaron las áreas que cumplen con estas características y se colocaron en otra cobertura o mapa de trabajo.
- Se tomó el mapa digital de fincas hecho en la sección anterior y se completó la distribución de propiedades, agregando los linderos de la Reserva Forestal Pacuare y la Reserva Indígena "Mauri Awari". En TABLES se verifica que cada propiedad tenga un identificador único, el cual refiere a única información socioeconómica.
- Se hace una copia de la anterior cobertura, para trabajar con una agrupación de propiedades definida de la siguiente forma:

**Código 1:** Aquí se agrupan fincas pequeñas y medianas que se caracterizan por tener un sólo dueño, o por ser la tenencia de estructura familiar.

**Código 2:** Se agrupan fincas medianas de un sólo dueño, con estructura empresarial.

**Código 3:** Se agrupan fincas grandes de un sólo dueño, con estructura empresarial.

**Código 4:** Fincas privadas sin producción aparente y ubicadas en las afueras de la reserva forestal.

**Código 5:** Fincas privadas sin producción aparente y ubicadas dentro de la reserva forestal.

**Código 6:** Reserva indígena.

**Código 7:** Areas no clasificadas.

Nota:

Antes de definir la anterior codificación, hay que tomar en cuenta la información de las encuestas en la base de datos y el conocimiento que se tenga sobre la tenencia de la tierra, a estas alturas de la investigación. El ordenamiento anterior fue el mejor que se diseñó para las condiciones encontradas y no quiere decir que sea un ordenamiento rígido.

- Posteriormente se hace una superposición topológica, del mapa de áreas críticas con el de propiedades agrupadas. La idea de esto es establecer combinaciones entre los dos niveles de riesgo de degradación y los 7 estatus posesorios definidos anteriormente. La matriz guía para interpretar esta combinación está en el cuadro 10.
- Al final lo que se quiere es obtener la distribución porcentual de cada nivel crítico (alto y medio), dentro de todo el conjunto posesorio de la zona de estudio.

Los resultados que se van a obtener conducirán a diversas recomendaciones, en función de los intereses de cada uno de los actores presentes en la zona de estudio (agricultores, ganaderos, Ministerio de Agricultura y Ganadería, Instituto Costarricense de Electricidad, organizaciones conservacionistas). Es de esperar que estas recomendaciones sean útiles para los planificadores estatales y privados, que trabajan con cada uno de estos actores.

**CUADRO 10: CATEGORIAS DE DISTRIBUCION DE AREAS CRITICAS**

CODIGO DE ESTATUS POSESORIO	NIVEL DE RIESGO DE DEGRADACION	
	MEDIO	ALTO
1	I	II
2	III	IV
3	V	VI
4	VII	VIII
5	IX	X
6	XI	XII
7	XIII	XIII

### **3.7 Materiales**

Para efectos de esta investigación se define como materiales, a las fuentes de información utilizadas en la misma y al equipo utilizado para procesarlas, con el fin de generar nueva información. Toda la cartografía física o digital referente a la zona de estudio se denomina como primaria; mientras que la obtenida por medio de procedimientos de SIG (como resultado parcial o final) se califica como resultante.

El detalle de los materiales empleados es el siguiente:

#### **3.7.1 Fuentes de información**

- Fotografías aéreas de la zona de estudio a escala 1:60.000, año 1992, del Instituto Geográfico Nacional (IGN); ampliadas a una escala 1:30.000.
- Hojas cartográficas Bonilla 3446 II (año 1967), Matina 3546 III (1988), Tucurrique 3445 I (1981), y Barbilla 3545 IV (1963); a escala 1:50.000 del IGN.
- Modelo de elevación digital de la cuenca del río Pacuare (en formato cuadrícula o "raster"), obtenido del Laboratorio de Sistemas de Información Geográfica del CATIE.
- Mapa digital del borde de la cuenca o divisoria de aguas (en formato vectorial), obtenido del Laboratorio de Sistemas de Información Geográfica del CATIE; generado a partir del modelo de elevación digital.

- Mapa geológico digital de la cuenca del río Pacuare (en formato vectorial), obtenido del Laboratorio de Sistemas de Información Geográfica del CATIE; revisado y corregido con datos del Departamento de Geología del ICE y de la tesis de Francisco Cervantes Loaiza (UCR 1990).
- Mapas de capacidad de uso de las tierras forestales de Costa Rica, a escala 1:50.000 (trazados sobre los mapas del IGN), del Centro Científico Tropical (CCT).

### 3.7.2 **Equipo:**

- Estereoscopio.
- Binoculares.
- Brújula o compás, tabla de trabajo de campo y libreta de notas.
- Cámara fotográfica y película.
- Microcomputadora y mesa digitalizadora del Laboratorio de Sistemas de Información Geográfica del CATIE.
- Programas de SIG PC ARC/IFO e IDRISI.

## CAPITULO 4

### DISCUSION DE RESULTADOS

En términos generales este nuevo diseño metodológico fue suficiente para identificar diferentes niveles de riesgo de degradación, como características cualitativas indicadoras de criticidad. También la metodología permitió la incorporación de información socioeconómica, que sirvió para entender mejor el contexto social y económico, que caracteriza a las áreas críticas.

No se propuso una metodología cuantitativa como las parcelas de escorrentía (con aplicación de la USLE), debido a las siguientes razones:

- 1) Toma mucho tiempo y no es fácil encontrar o recolectar datos de campo para la zona de estudio. La idea de esta investigación es diseñar y probar un metodología de identificación rápida, utilizando fuentes de información ya existentes.
- 2) La aplicación de la Ecuación Universal de Pérdida de Suelos (USLE) estima valores, que pueden ser sobre o subestimados para el trópico centroamericano; con los que se hacen generalizaciones bastante amplias. Además existe el inconveniente de que es difícil obtener datos, para cada uno de los factores o parámetros que componen la ecuación. Con uno que falte, esta no se puede aplicar. En el caso de la zona de estudio, no todos los datos están disponibles.

- 3) Citando a los autores de la metodología española:  
"Los estados erosivos actuales no son sino la consecuencia de un proceso temporal más o menos largo, que ha tenido como principal agente a los derivados de la erosión, manifestada en cada una de las áreas por medio de diferentes pérdidas de suelos, dependiendo de la importancia e intensidad de los agentes intervinientes" (Carrera, et al. 1990).

En otras palabras, una zona puede reportar pérdidas de suelo muy bajas (menores a las 10 ton/ha) y sin embargo su estado erosivo, como cualidad intrínseca, es de alto riesgo debido a la presencia e intensidad de los agentes que causan la erosión.

En este capítulo se discutirán los procedimientos descritos en la metodología y se analizarán los resultados obtenidos en cada proceso.

#### **4.1 Identificación de los estados erosivos**

##### **4.1.1 Identificación de los grados de protección del suelo**

###### **a) Fotointerpretación, inspección y georeferenciación de la zona de estudio**

La clasificación de imágenes es más práctica para aquellas áreas de estudio muy extensas, que requerirían de muchas horas de trabajo de fotointerpretación. Su inconveniente es que requiere de personal y equipo especializado. Además el error de clasificación de una imagen (20% de error es considerado bueno) puede ser tolerado para un área de análisis muy extensa,

donde es posible generalizar más la información; pero no lo sería tanto para áreas más pequeñas.

La zona de estudio de esta investigación tiene un área aproximada de 89,25 km<sup>2</sup>, la cual es considerada no muy extensa. Tomando en cuenta además el nivel de detalle requerido por la metodología, se decidió extraer la información necesaria por medio de fotointerpretación.

Este proceso consiste en examinar las imágenes fotográficas, con el propósito de identificar elementos y juzgar su significado. Esta técnica es una herramienta muy útil en la planificación y manejo de cuencas hidrográficas, pues permite reconocer grandes áreas sin tener que recorrerlas en el terreno (Veiman y Charles, 1988).

Los elementos de interés a obtener de la fotointerpretación fueron las unidades de uso de la tierra, subdivididas según tipos de coberturas. En este punto se utilizó como guía la caracterización establecida en el Diagnóstico Físico Conservacionista en Cuencas Hidrográficas del CIDIAT (CIDIAT, 1984). Lo único que no se incluyó en esta clasificación fueron los cultivos anuales, por ser áreas muy pequeñas y dispersas; además de ser inconstantes en el espacio y en el tiempo. Esto se refiere a que los campesinos generalmente rotan los lugares donde siembran estos cultivos, con excepción del culantro coyote; el cual parece ser que se convertirá en un cultivo bastante constante y creciente en área, debido a que se exporta fuera del país.

Posteriormente las dos inspecciones de campo realizadas, confirmaron que la zona no ha cambiado mucho en los últimos tres años. Las correcciones que se hicieron sobre la fotografía aérea fueron pocas, y más a nivel de detectar nuevas plantaciones forestales y zonas de cultivos permanentes mixtos.

Se debe tener cierto cuidado cuando se trabaja con una fotografía aérea, pues contiene una serie de errores y distorsiones que pueden ser problemáticos. Las más usuales deformaciones y distorsiones encontradas en las fotografías aéreas son:

- **Desplazamiento por el Relieve:** Se debe a que la fotografía aérea representa una superficie plana, por lo que en las variaciones del relieve, los puntos que estén a mayor o menor altura del plano de referencia, aparecerán a menor o mayor distancia de la foto, respectivamente.
- **Desplazamiento por Inclinación:** Este es el resultado de la inclinación del avión a la hora de la toma de la fotografía. La inclinación de la fotografía produce una distorsión, dando lugar a una compresión de la escala por un lado del eje X y a un aumento por el otro lado de la foto. Otros tipos de desplazamiento de la imagen son causados por giros, ladeos, cabeceos y deriva del avión.
- **Distorsión Radial y Tangencial:** Puede existir distorsión de una imagen debido a imperfecciones del lente objetivo. Al pasar la imagen por el objetivo se desvía ligeramente de su verdadera posición. Este tipo de distorsión afecta la posición de los detalles en la imagen. Esta distorsión puede desplazar un punto en dos direcciones a la vez: radialmente a partir del punto principal y tangencialmente o perpendicular al radial.
- **Error Combinado:** El error combinado es el resultado de dos o más de las distorsiones mencionadas anteriormente.

También hay que tomar en cuenta el efecto de paralaje que sucede en una foto aérea. Este efecto es el desplazamiento de la imagen de un punto en dos fotografías consecutivas; lo cual se debe al cambio de la posición de toma. La magnitud va a depender de la elevación del punto sobre la tierra. Estas distorsiones se aprecian más hacia los bordes de la foto y por eso se habla de que el centro de la misma es el área útil de fotointerpretación.

Todo lo anterior indica que la foto aérea no se puede ver como un mapa cualquiera y que se deben tomar en cuenta los errores que se inducen, por las distorsiones presentes en la misma y por la diferencias de escala. Esto es muy importante de considerar sobre todo cuando la información obtenida de la foto se va a manipular espacialmente, con datos de otras fuentes (mapas 1:50.000, modelos de elevación digital, etc).

De no considerar esto, se puede caer en el error de digitalizar los elementos de la foto, georeferenciarla de manera independiente; y encontrarse con la sorpresa de que los elementos digitalizados no concuerdan, con otros elementos de otras fuentes de información.

Por ejemplo: tal vez se digitalizaron dos áreas de pastos a ambos lados del río; muy cerca de la divisoria de aguas de la cuenca y cerca del borde de la foto. A la hora de sobreponer elementos de otras fuentes, como polígonos de capacidad de uso (digitalizados de mapas 1:50.000) o el río Pacuare (derivado del modelo de elevación digital a la misma escala); se tiene que el río pasa en medio de uno de los polígonos de pastos; o dicho polígono está muy corrido de donde debiera estar, con respecto a los de capacidad de uso.

Para evitar todos éstos problemas (o al menos minimizarlos) se debe georeferenciar la foto aérea en función de las otras fuentes de información.

## **b) Digitalización de los resultados de la fotointerpretación**

El RMS resultante de la primera transformación fue de 175 m de error, lo que significa que hay una desviación en el ajuste de puntos de mesa/puntos geográficos de 175 m. Esta desviación se consideró muy alta, por lo que se procedió a identificar los puntos con mayor desviación en X y en Y; luego a eliminarlos de la base de datos (coordenadas de mesa y coordenadas geográficas) y ejecutar una nueva transformación sin ellos. Este es un proceso de prueba y error que debe de hacerse, para bajar el RMS lo más que se pueda.

En este caso se realizaron 10 transformaciones consecutivas, obteniéndose un RMS final de 55.86387 y eliminado 25 "tics" de los 58 originales. No se continuó con más transformaciones, debido a que el eliminar más "tics" no bajaba más el RMS de forma significativa. Además se corría el riesgo de que los "tics" remanentes quedaran concentrados solo en un sector de la foto, lo cual no es conveniente.

Como resultado de esta etapa se obtuvieron tres mapas digitales: uno de carreteras y caminos, otro del río Pacuare, y otro de tipos de cobertura vegetal. Como los tres son digitalizados de la misma fuente y tienen los mismos "tics", no se presentan problemas a la hora de sobreponerlos visualmente en ARCEDIT, y utilizar elementos de unos para completar los linderos de otros.

Sin embargo la exactitud disminuye considerablemente, cuando intervienen elementos digitalizados de otras fuentes. Esto es de esperar, pues hay que considerar que todas las fuentes de información cartográfica inducen algún grado de error, debido a cuestiones de trazado, de impresión, diferencias de escala, transformaciones digitales, etc.

En esta metodología intervinieron tres tipos de fuentes: fotografías aéreas, mapas físicos y mapas digitales. Además se manejaron dos diferentes escalas: 1:30.000 y 1:50.000. El armonizar todo esto tomó bastante tiempo y aún así, aunque el resultado es visualmente aceptable, se tiene un error global de aproximadamente 50 m .

Por ejemplo al comparar, via sobreposición en ARCEDIT, el mapa digital del río Pacuare (digitalizado de la foto), con el mapa digital de capacidad de uso; cuya fuente son mapas 1:50.000 y que tienen su propio río trazado; se detectaron diferencias significativas en dos sectores: la parte superior de la cuenca y la parte inferior.

Tomando en cuenta que ambas fuentes de información (foto y mapas) no son exactas, se hizo un ajuste parejo de la siguiente forma:

- En la parte superior se decidió que la foto es la fuente más inexacta, pues es un área muy cercana al borde de la misma; por lo que está en la zona de distorsión (efecto de paralaje). Se decidió entonces ajustar el trazado del río, tomando como referencia la fuente de mapas.
- En la parte inferior se decidió que los mapas son más inexactos, pues es un área ubicada en la parte central de la foto y en donde se detectaron algunos polígonos mal trazados en los mapas. Debido a esto se procedió a ajustar el trazado de algunos polígonos, tomando como referencia el río de la foto.
- El resto de los elementos de ambas fuentes permanecieron sin cambios.

Por otra parte, este nuevo mapa del río se usó para completar los bordes de los polígonos que limiten con este, para todos los mapas digitalizados de la fotografía aérea.

Con respecto al mapa de caminos, se encontraron los siguientes tres tipos de vías en la zona, que luego se confirmaron en las giras de campo:

- **Carretera principal:** Es la carretera Turrialba-Siquirres la cual es pavimentada, con un sistema eficiente de drenajes y transitable todo el año. Estratégicamente es la más importante de la zona, pues comunica con Turrialba y con Siquirres; lo que implica comunicación con los centros sociales y comerciales más importantes y cercanos a la cuenca. El trazado de esta vía implica también la presencia de dos servicios importantes: electricidad y teléfono.
  
- **Camino secundario:** Son vías que se caracterizan por ser de grava con piedra prensada y tienen un sistema de alcantarillado básico, lo que facilita el tránsito todo el año (aún durante el invierno). Generalmente conducen hasta el centro de los caseríos más importantes en el interior de la cuenca.
  
- **Camino terciario:** Son vías sin grava y abiertas con tractor sobre el terreno arcilloso de la zona (antiguos caminos madereros). Son comúnmente llamadas "trochas" y se caracterizan por ser bastante inestables en invierno, ya que no poseen una base sólida de material y no tienen drenajes; lo que limita su uso sólo al verano.

Es importante aclarar aquí que las áreas no clasificadas son zonas que no se estudiaron, por razones de geografía o de acceso a la información. La zona grande al sur estaba invadida por precaristas al momento del estudio, lo que dificultaba el trabajo de campo; mientras que las zonas al oeste se excluyeron

por estar al otro lado de la carretera Turrialba-Siquirres, por lo que representan otra situación socioeconómica diferente y poco representativa. En todo caso estas zonas son apenas el 3.52% del área de estudio y se mantienen como áreas excluidas permanentemente.

**c) Mapa digital de los grados de protección del suelo y uso actual de la tierra**

El mapa de grados de protección del suelo se obtuvo reclasificando el mapa de coberturas vegetales. Para hacer esto se utilizó como guía, la tabla de clasificación de índices de protección al suelo, definidos en la metodología del CIDIAT; adaptada a las condiciones encontradas en el río Pacuare.

Esta clasificación relaciona la influencia de los diferentes tipos de vegetación, en el control de las avenidas y los procesos de erosión del suelo. Por lo tanto establece un coeficiente numérico que estima diferentes grados de protección al suelo, proporcionados por diferentes formas de vegetación.

Es de esperar que la vegetación arbórea sea la más eficaz protección al suelo por dos razones:

- La acción de intercepción o amortiguamiento que ejercen las copas de los árboles al momento de caer la lluvia, disminuyen la energía cinética de las gotas de agua.
- La profundidad de las raíces de los árboles mantienen la estabilidad del suelo.

Por otra parte, también los arbustos ofrecen algún grado de protección, ya que su densidad y su sistema radicular contribuyen al frenado de la escorrentía superficial. De igual forma se podría hablar de los demás tipos de vegetación, con diferentes contribuciones en la protección al suelo.

Por esta razón la metodología del CIDIAT asigna un índice que va de 0 a 1. Cada uno de estos índices está asociado a una calificación, cuyos extremos son: sin protección para el índice 0 (suelos totalmente desnudos) y muy alto grado de protección para el índice 1 (bosques densos).

En el caso de la cuenca del Pacuare los índices extremos encontrados son de 0.3 y de 1 (ver cuadro 1). El primero está asociado con cultivos permanentes mixtos, los cuales ofrecen un grado medio de protección al suelo. El segundo ofrece un alto grado de protección y está asociado a bosques primarios densos.

Estos indicadores comienzan a dar ya una primera idea del estado de la cuenca. Como el valor más bajo es calificado como medio, se puede pensar por el momento que la cuenca no está tan dañada.

En el cuadro 11 se pueden apreciar las áreas encontradas bajo cada nivel de protección y su distribución porcentual con respecto al área total. Es claro que la cuenca está mayormente protegida por la vegetación actual (74.35%) y en el peor de los casos está medianamente protegida (10.21%).

**CUADRO 11: NIVELES DE PROTECCION AL SUELO DADOS  
POR LA COBERTURA VEGETAL**

IDENTIFICADOR	CATEGORIA DE PROTECCION	AREA (HA)	PORCENTAJE DE PARTICIPACION
1	Muy alto	6,635.27	74.35%
2	Alto	1,064.59	11.93%
3	Medio	911.05	10.21%
4	Areas no clasificadas	313.74	3.52%
<b>TOTAL</b>		<b>8,924.66</b>	<b>100.00%</b>

El aspecto de la cuenca bajo estas condiciones se aprecia en la figura 6, en donde se puede ver como la cuenca está ampliamente protegida (áreas verde claro y áreas rojas), y como las áreas de protección media se encuentran mayormente localizadas, hacia el sector izquierdo de la misma (áreas verde oscuro); coincidiendo con las zonas más antiguas de penetración antropogénica.

Esta situación debe ser concordante con el uso actual, lo cual se confirma en el cuadro 12. Como se puede ver, el uso mayoritario de la cuenca es bosque primario (82.09%), seguido por pastizales para ganadería (10.74%), mientras que otros usos no superan el 4% del área total.

**CUADRO 12: USO ACTUAL DE LA TIERRA EN LA ZONA DE ESTUDIO**

IDENTIFICADOR	TIPO DE USO	AREA (HA)	PORCENTAJE DE PARTICIPACION
1	Bosque primario	7,326.16	82.09%
2	Bosque secundario	55.83	0.63%
3	Bosque mixto	192.39	2.16%
4	Plantacion forestal	64.16	0.72%
5	Pastizales	958.94	10.74%
6	Cultivos permanentes	13.44	0.15%
7	Areas no clasificadas	313.74	3.52%
<b>TOTAL</b>		<b>8,924.66</b>	<b>100.00%</b>

La figura 7 presenta la distribución espacial del uso actual, en la cual se aprecia muy bien como las áreas de uso agropecuario (pastos principalmente) se ubican mayoritariamente, hacia el sector izquierdo de la cuenca (áreas amarillas y azul claro); lo cual indica que son las zonas de principal actividad humana..

Hacia el sector norte derecho de la cuenca se encuentra una zona grande de plantación forestal (áreas azul oscuro). Esta fue una finca que hace tres años era ganadera y que fue transformada en plantación forestal por la compañía Lachner y

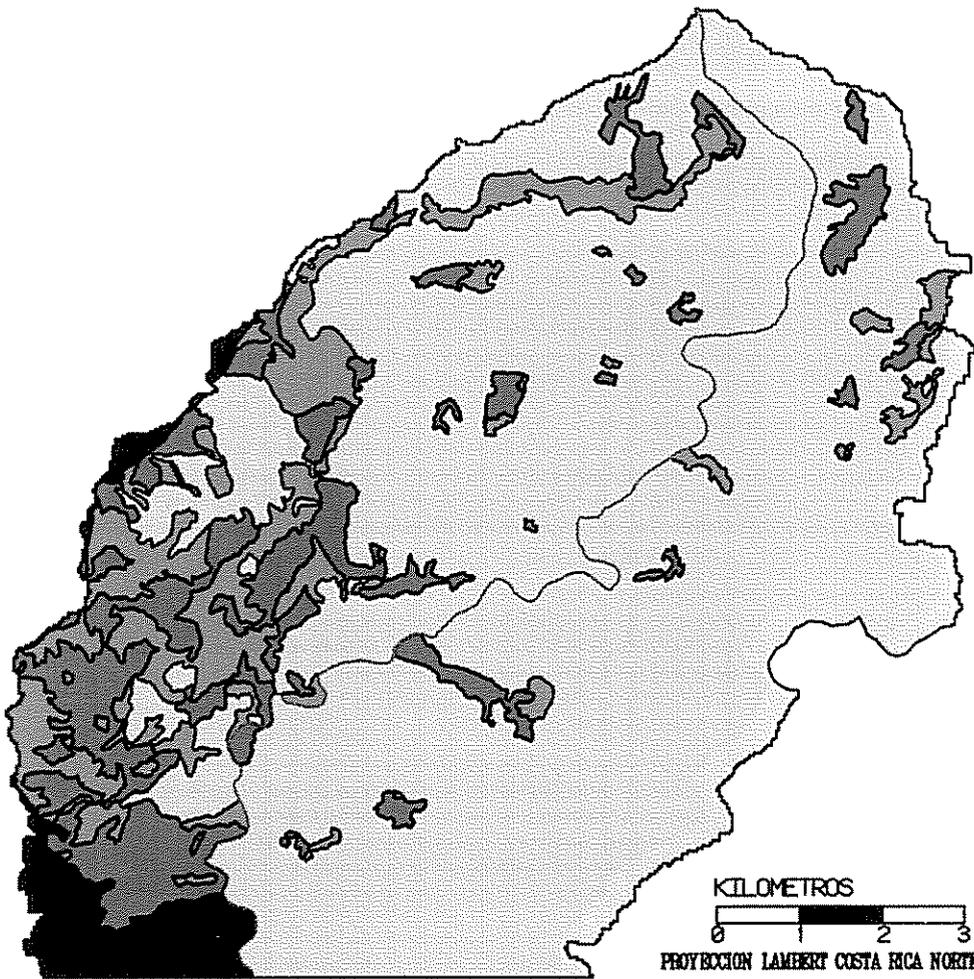
Sáenz, por lo que se espera producción comercial a partir de 1995.

Sin embargo hacia el sur si se reconoció en el campo, la presencia de fincas ganaderas en producción (áreas amarillas). Más hacia el sur y siempre en el sector derecho de la cuenca, se aprecian algunos usos dentro del bosque primario (áreas rojas y amarillas), que podrían ser producto de antiguas actividades extractivas de madera, o producto de la agricultura migratoria de los grupos aborígenes.

Una situación interesante es notar como las zonas de bosque mixto (áreas verde oscuro) y de bosque secundario (áreas rojas), se encuentran limitando las zonas de pastos. Esto hace pensar que anteriormente el bosque fue cortado para extraer lo comercialmente valioso y para dar paso a nuevas zonas ganaderas, las cuales posteriormente se abandonaron y naturalmente se cubrieron de vegetación.

Todo lo anterior hace pensar que la cuenca se mantiene bajo estas características, debido a la poca presión humana que aún se mantiene ahí. Además es claro que la principal actividad productiva de la zona es la ganadería, la cual se sustenta mayormente en pastizales poco degradados. En otras palabras, la actividad ganadera presente en al zona no es tan destructiva, como en otros lugares del país.

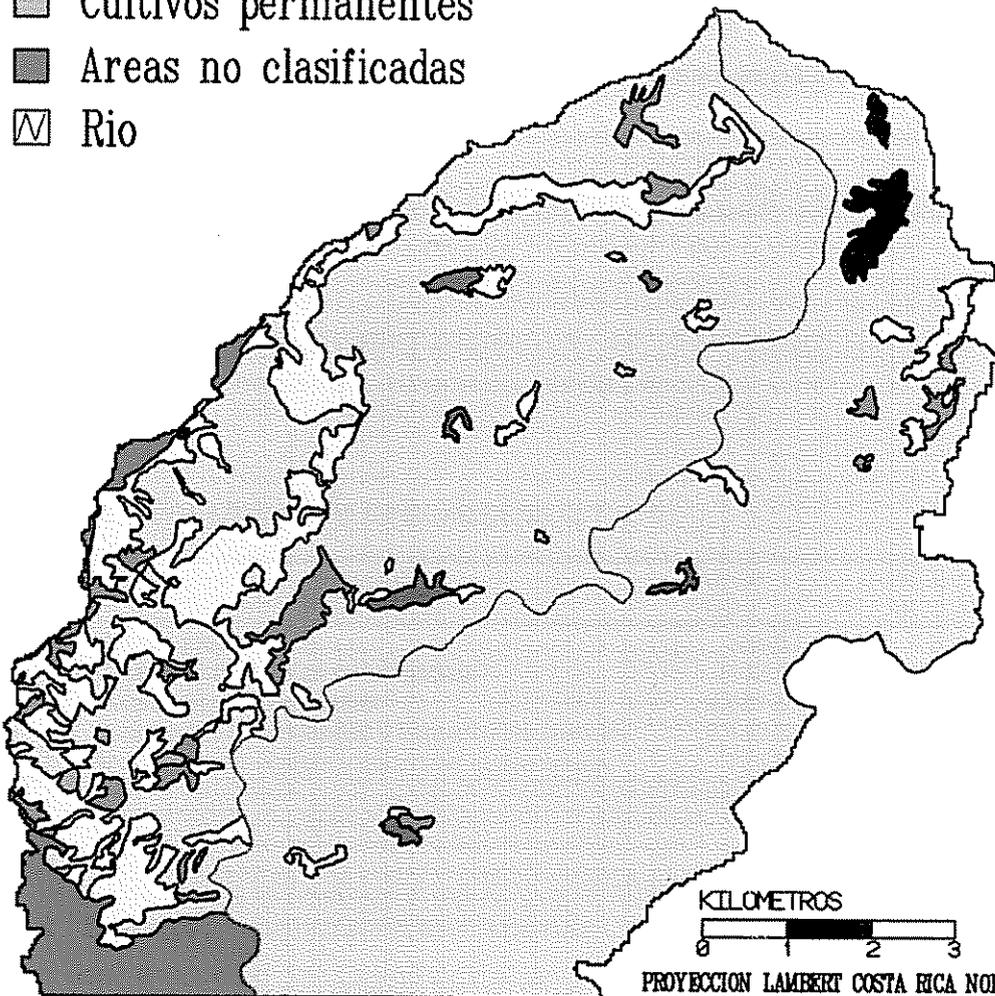
- Muy alto
- Alto
- ▒ Medio
- Areas no clasificadas
- ▨ Rio



KILOMETROS  
 0 1 2 3  
 PROYECCION LAMBERT COSTA RICA NORTE

FIGURA 6: GRADO DE PROTECCION AL SUELO  
 AREA DE ESTUDIO, RIO PACUARE

- Bosque primario
- Bosque secundario
- Bosque mixto
- Plantación forestal
- Pastizales
- Cultivos permanentes
- Areas no clasificadas
- ▨ Rio



KILOMETROS  
0 1 2 3  
PROYECCION LAMBERT COSTA RICA NORTE

FIGURA 7: USO ACTUAL DE LA TIERRA  
AREA DE ESTUDIO, RIO PACUARE

#### 4.1.2 Identificación del potencial erosivo

##### a) Mapa digital de unidades litológicas o litofacies

En esta etapa se buscó identificar los tipos de roca presente en la cuenca y asociarlos con algún grado de resistencia a la erosión. Esto porque la naturaleza de la roca madre y su grado de resistencia implican un carácter de disgregabilidad, el cual es importante para explicar el origen del proceso erosivo y torrencial.

El área de estudio presenta nueve tipos de formaciones geológicas diferentes, las cuales fueron agrupadas en 5 tipos de unidades litológicas. El resultado obtenido se aprecia en el siguiente cuadro y posteriormente se describe cada unidad, en orden de resistencia al proceso erosivo:

CUADRO 13: DISTRIBUCION LITOLOGICA EN EL AREA DE ESTUDIO

IDENTIFICADOR	UNIDAD LITOLOGICA	AREA (HA)	PORCENTAJE DE PARTICIPACION
1	Rocas ígneas	388.52	4.35%
2	Rocas calcáreas bien cementadas	112.08	1.26%
3	Rocas silíceas compactas	4,487.67	50.28%
4	Rocas poco consolidadas y formaciones blandas	3,149.88	35.29%
5	Arcillas, limos, arenas y depósitos cuaternarios	786.50	8.81%
<b>TOTAL</b>		<b>8,924.65</b>	<b>100.00%</b>

- **Rocas ígneas:** representan apenas el 4.35% del área total de estudio e involucra a formaciones de origen volcánico. Estas son las rocas más duras y resistentes al proceso erosivo.

Dentro de este grupo se encuentran los materiales intrusivos, los cuales son rocas ígneas que salen a la superficie, a través de grietas de materiales sedimentarios (calizas, lutitas y margas), por lo que intruyen a estos materiales. La diferencia con otras

formaciones volcánicas es a nivel de textura, por diferentes condiciones de enfriamiento.

- **Rocas calcáreas bien cementadas:** son la minoría con un 1.26% del área total e involucran sólo a la formación Senosri, la cual está mayormente formada con rocas calcarenitas y calcilutitas. Ocupa el segundo lugar en resistencia a la erosión.
  
- **Rocas silíceas compactas:** Involucran únicamente a la formación Tuis, la cual es la más dominante en la cuenca (50.28% del área). Esta formación está básicamente compuesta por brechas, conglomerados y areniscas siliciclásticas. Ocupa el tercer lugar en resistencia a la erosión.
  
- **Rocas poco consolidadas y formaciones blandas:** Es la segunda unidad más abundante con un 35.29% del área. Comprende tres formaciones: Uscari (Calcilutitas margas); Río Banano (Conglomerados) y Suretka (conglomerados). Ocupan el cuarto lugar en resistencia a la erosión.
  
- **Arcillas, limos, arenas y depósitos cuaternarios:** Son los materiales menos resistentes a la erosión y ocupan sólo un 8.81% del área total. Aquí hay que diferenciar dos tipos de formaciones: los aluviones recientes, que son materiales depositados por el río y los deslizamientos evidentes.

En la zona de estudio existen dos deslizamientos importantes, localizados en la parte norte y muy cerca de la divisoria de aguas (ver figura 5, áreas gris oscuro). Uno de ellos está en la margen derecha del río, es muy activo, y se agravó después del terremoto de Limón en 1991. El otro forma parte de la formación Guayacán (rocas ígneas); pero precisamente el área de esta formación que entra

dentro de la cuenca, se está comportando como un deslizamiento. Prácticamente está cayendo sobre la formación Uscari.

La figura 8 muestra la distribución espacial de las anteriores unidades litológicas. Las leyendas de cada unidad están ordenadas de mayor a menor grado de resistencia a la erosión y se deben de leer de arriba hacia abajo.

Como se puede apreciar más del 85% del área total de la cuenca está bajo un nivel, de tercer a cuarto grado de resistencia a la erosión (áreas verdes y azul oscuro). Las zonas de menor resistencia se encuentran principalmente hacia el norte (áreas amarillas) y es de esperar que también a lo largo de todo el cauce del río Pacuare. Las zonas de mayor resistencia son las menos abundantes y se encuentran en extremos de la zona de estudio (áreas rojas y de azul claro).

Como conclusión importante se tiene que litológicamente la zona de estudio no es en su mayoría, muy resistente al proceso de erosión; situación que se verá reflejada en el potencial erosivo, a la hora de incluir el factor pendiente.

La anterior clasificación tiene la ventaja de que es rápida de hacer, si se conocen las formaciones geológicas y si se cuenta con el asesoramiento de geólogos que estén en capacidad, de discriminar sobre la roca más abundante y sobre el grado de resistencia a la erosión.

Aunque esta clasificación es bastante general y únicamente desde un punto de vista geológico, es suficiente para el tipo de identificación que se persigue con este estudio. Para un nivel de detalle mayor, podría ser más interesante saber el estado actual de meteorización de la roca y el tipo de suelo que se está formando; en vez de su capacidad potencial de erosionarse. Sin embargo este nivel de detalle implicaría un

- Rocas igneas
- Calcarenitas y calcilutitas
- Brechas, conglomerados y areniscas
- Calcilutitas margas y conglomerados
- Coluvios y aluviones

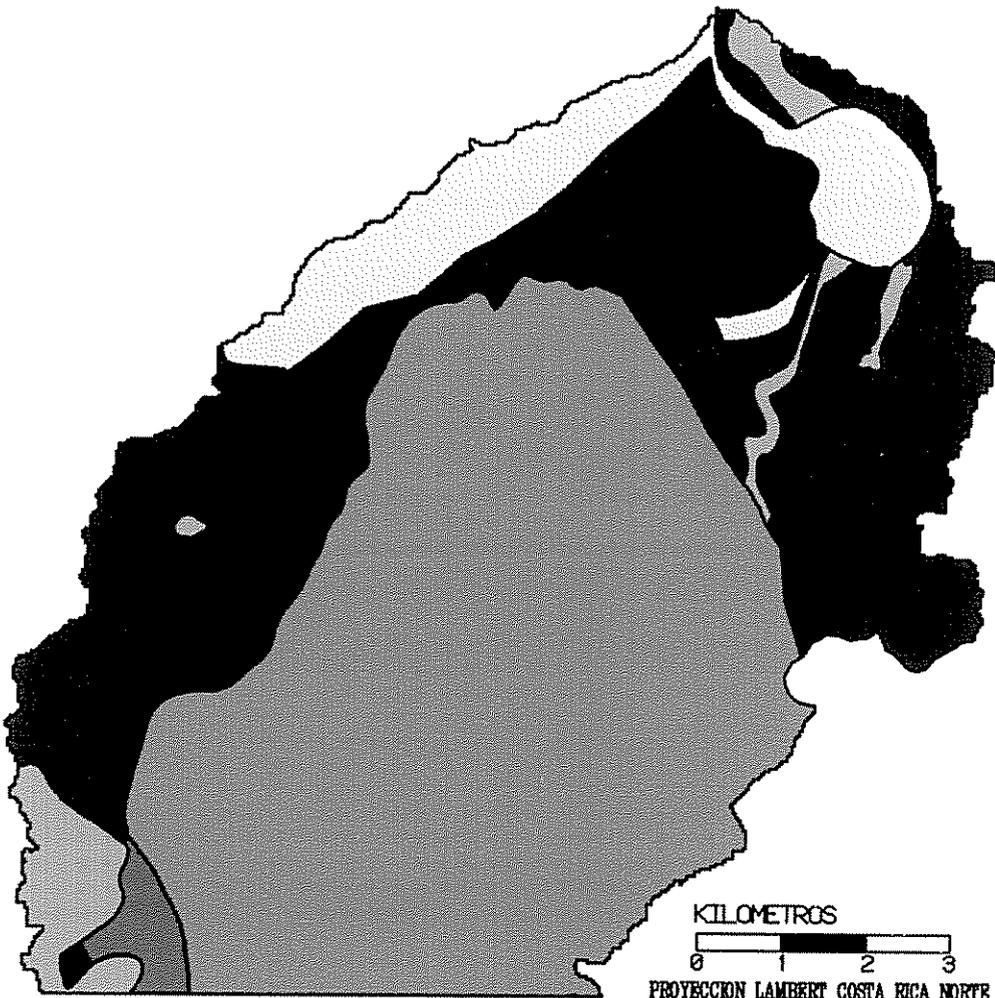


FIGURA 8: UNIDADES LITOLÓGICAS

ÁREA DE ESTUDIO, RÍO PACUARE

trabajo de campo más grande, que escapa a los objetivos de este estudio.

## **b) Mapa digital de pendientes**

El mapa de pendientes es originado del modelo de elevación digital (MED), tal y como se explicó en la metodología. La fuente de información del modelo fueron las 8 hojas cartográficas, (a escala 1:50.000, editadas por el IGN) de las cuales sus curvas de nivel fueron escaneadas y procesadas en ARC/INFO. El archivo que se usó en esta investigación estaba convertido a formato "raster", en IDRISI.

Los cuatro filtrados hechos al mapa de pendientes se hicieron para uniformizar más la información y eliminar lo innecesario, que sólo dificultaría y atrasaría los procesos posteriores. Los mapas de pendientes generados por SURFACE son bastante precisos, pues el programa los calcula para cada pixel, comparando la elevación de este con sus vecinos. De esta manera el programa calcula un promedio.

Sin embargo el MED tiene sus errores, pues depende de la precisión de los mapas usados, la escala de los mismos, y el error matemático en todos los procesos.

El resultado más evidente de este proceso es que la zona de estudio tiene más de la mitad del área (52.29%), bajo un rango de pendiente que está entre el 25 y el 50%; lo cual es considerado como pendiente fuerte (ver cuadro 14). En segundo orden de importancia está el rango de 12 a 25% con un 23.18% del área total, mientras que los rangos extremos son minorías en área.

**CUADRO 14: DISTRIBUCION DE LOS RANGOS DE PENDIENTES**

IDENTIFICADOR	RANGOS DE PENDIENTES	AREA (HA)	PORCENTAJE DE PARTICIPACION
1	Pendiente suave (0 a 12%)	922.40	10.34%
2	Pendiente moderada (12 a 25%)	2,069.10	23.18%
3	Pendiente fuerte (25 a 50%)	4,666.88	52.29%
4	Pendiente muy fuerte (50 a 75%)	1,152.07	12.91%
5	Empinado o escarpado (> 75%)	114.21	1.28%
<b>TOTAL</b>		<b>8,924.65</b>	<b>100.00%</b>

La figura 9 presenta la distribución espacial de estos rangos de pendiente, en donde se puede apreciar la amplia distribución de la pendiente fuerte en toda el área de estudio (área verde). Las áreas de pendiente moderada (zonas amarillas) se concentran hacia los extremos de la cuenca y rodean a las zonas de pendiente suave (zonas negras), formando pequeños valles que van desde los extremos de la cuenca hacia el interior.

Las zonas de mayor pendiente (áreas azules y rojas) se concentran principalmente hacia el centro de la cuenca, en el cauce del río Pacuare. Esta situación produce un cañón en el río, que al estar cubierto con bosque primario ofrece un espectáculo realmente impresionante. Hacia el norte, el río sale atravesando un verdadera pared de roca, cuya pendiente crece desde los 25-50%, hasta pendientes mayores al 75%. Esta situación origina el paso conocido como "Dos Montañas", el cual es un cañón de paredes verticales bastante atractivo, y que se convertirá en el sitio de presa del futuro proyecto hidroeléctrico Siquirres.

- 0 a 12%
- 12 a 25%
- ▒ 25 a 50%
- 50 a 75%
- Mayor a 75%
- ▨ Rio

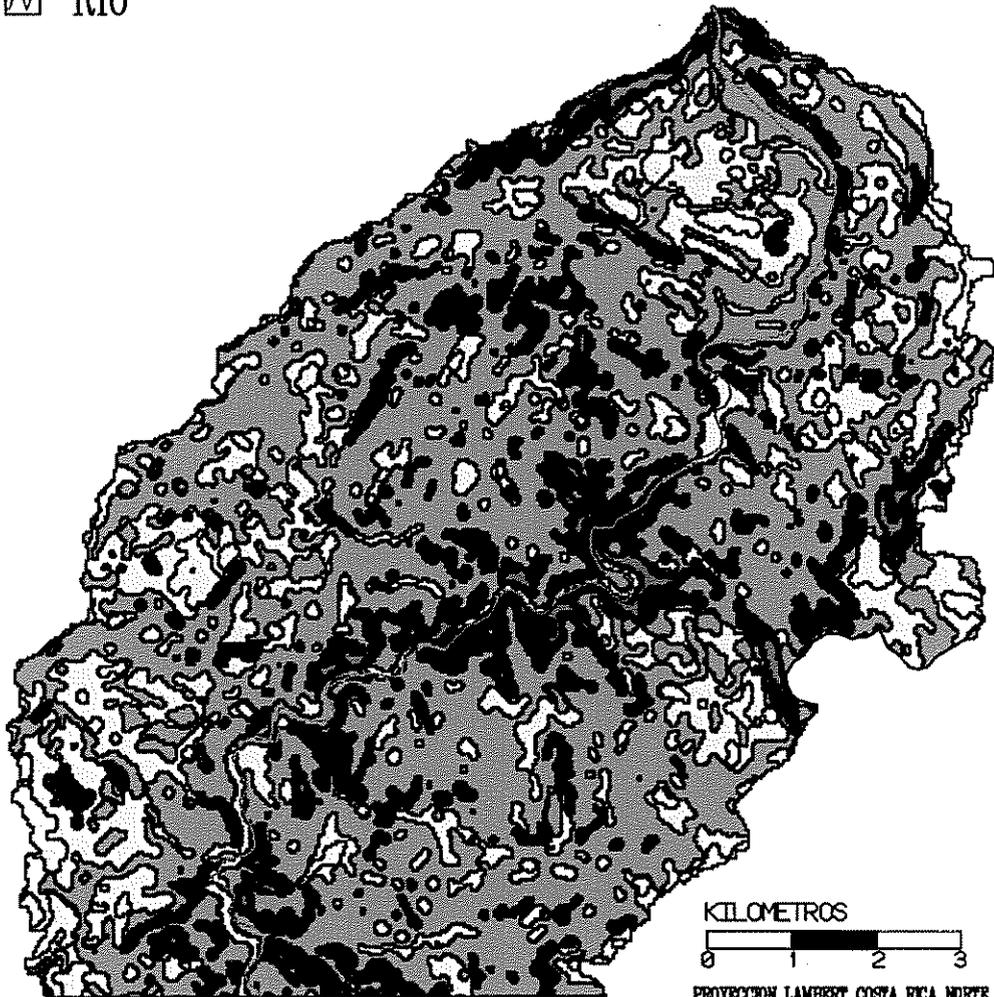


FIGURA 9: RANGOS DE PENDIENTES  
AREA DE ESTUDIO, RIO PACUARE

c) Mapa digital de potencial erosivo

El cuadro 15 presenta el resultado de sobreponer el mapa de pendientes con el de unidades litológicas. En este análisis no solo se analiza el tipo de roca y su susceptibilidad a la erosión; sino que también involucra a la pendiente en donde se encuentra el material.

**CUADRO 15: DISTRIBUCION DEL POTENCIAL EROSIVO**

IDENTIFICADOR	NIVELES DE ERODABILIDAD	AREA (HA)	PORCENTAJE DE PARTICIPACION
1	Muy bajo (MB)	86.21	0.97%
2	Bajo (B)	568.25	6.37%
3	Medio (M)	1,388.78	15.56%
4	Alto (A)	6,059.67	67.90%
5	Muy alto (MA)	821.74	9.21%
<b>TOTAL</b>		<b>8,924.65</b>	<b>100.00%</b>

Se tiene entonces que el 68% del área total de la cuenca tiene un riesgo o potencial erosivo considerado como alto; seguido por un 16% con un nivel de riesgo mediano. El origen de este resultado se explica por el hecho de que los tipos de roca más abundante son silíceas compactas, o bien rocas blandas poco consolidadas. Estas rocas en pendientes entre un 12 y un 50%, tendrán un nivel de riesgo entre mediano a alto de que se erosionen.

La figura 10 presenta la distribución espacial de este resultado, en donde se aprecia como el nivel de riesgo alto de erodabilidad de la roca (potencial o riesgo erosivo) domina en toda la zona de estudio (área azul); intercalándose con pequeñas pintas de niveles bajo (rojo), moderado (verde), o muy alto (amarillo).

Es interesante ver como los niveles de riesgo bajo y moderado se asocian en tres grupos definidos: el primero hacia el sector sur izquierdo de la cuenca; el segundo hacia el sector este; y el tercero hacia el sector norte. De estos dos el más importante es el primero, el cual ocurre más por el tipo de roca (ígneas y calcarenitas/calcilutitas) las cuales son más resistentes al proceso erosivo.

Otro aspecto interesante es que los niveles de riesgo bajo a moderado predominan en los sectores circundantes al río, aunque el material litológico sea variable. La razón de esto es básicamente la pendiente, la cual es suave o baja en el cauce del río.

Finalmente la zonas de máximo riesgo de erodabilidad (áreas amarillas) se concentran principalmente en las zonas de deslizamientos (ver figura 5, áreas gris oscuro); lo cual es lógico debido a que se trata de material inestable en pendientes fuertes.

Un análisis así es práctico y rápido de hacer, además de ser suficiente para el nivel de detalle del presente trabajo. Para estudios posteriores más específicos se podría seguir combinando las variables roca y pendiente, pero haciendo un estudio más profundo de perfiles geológicos. Estos perfiles se combinarían con las pendientes y la longitud de éstas. De esta forma se tendría un análisis más detallado, de la relación pendiente/litología.

Es importante aclarar aquí que un estudio de perfiles geológicos implica un trabajo de campo fuerte, el cual tiene que ser hecho necesariamente por un equipo de geólogos.

- Muy bajo
- Bajo
- Moderado
- Alto
- Muy alto
- ▨ Rio

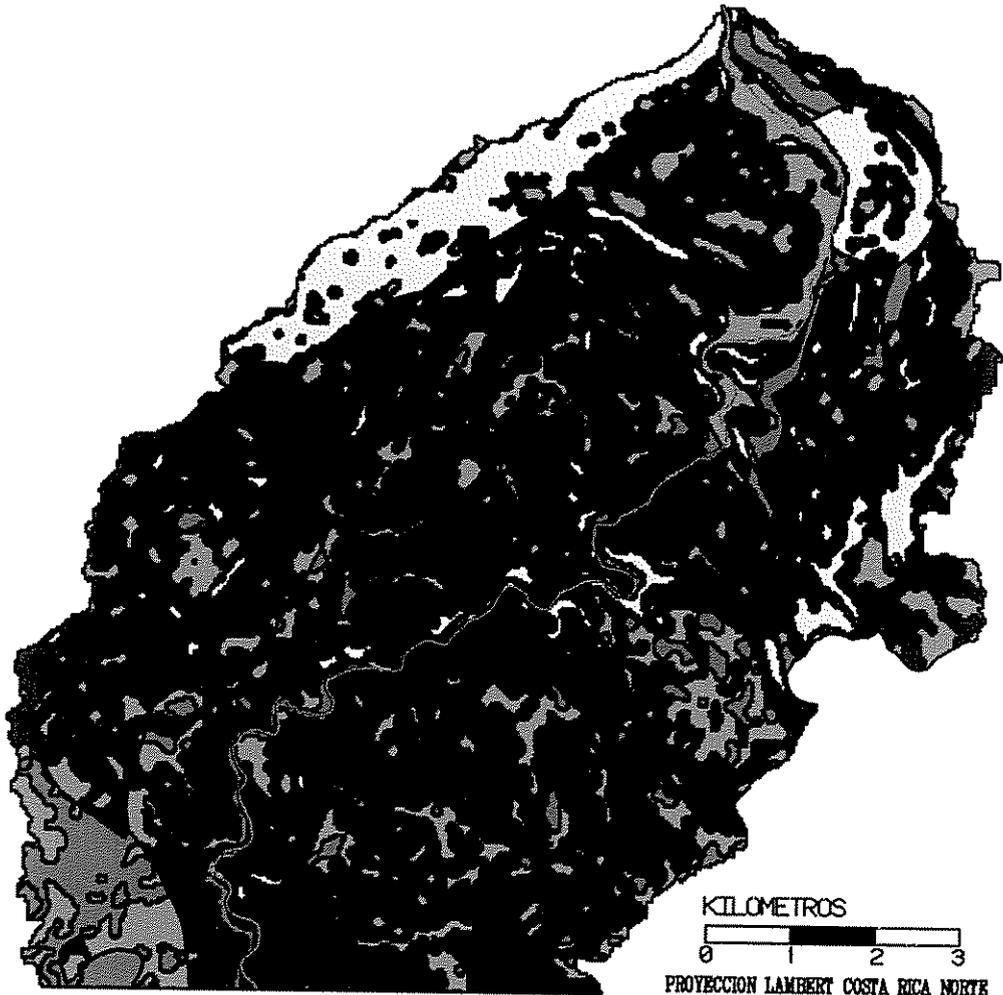


FIGURA 10: NIVELES DE ERODABILIDAD  
 AREA DE ESTUDIO, RIO PACUARE

#### 4.1.3 Mapa digital de los estados erosivos presentes

Esta cartografía digital se obtuvo de hacer el análisis espacial entre el grado de protección al suelo por vegetación, y el nivel de riesgo o potencial erosivo.

El siguiente cuadro presenta la distribución porcentual del resultado, donde destaca el hecho de que el 63% de la cuenca presenta un estado erosivo bajo, seguido por un 17% considerado como medio y un 16% como bajo. El resultado más malo (grave) es una minoría de área de un 1%.

**CUADRO 16: IDENTIFICACION DE LOS ESTADOS EROSIVOS PRESENTES**

IDENTIFICADOR	ESTADO EROSIVO PRESENTE	AREA	PORCENTAJE DE PARTICIPACION
1	Muy grave	0 00	0 00%
2	Grave	95 42	1 07%
3	Medio	1,488 85	16 68%
4	Bajo	5,610 81	62 87%
5	Muy bajo	1,415 84	15 86%
6	Areas no clasif.	313.74	3.52%
<b>TOTAL</b>		<b>8,924.66</b>	<b>100.00%</b>

Esto se explica en el hecho de que a pesar de que mayormente la cuenca tiene un material parental ubicado bajo condiciones de alto riesgo de erosión; el estado erosivo se minimiza por efecto de la cobertura predominante actual, la que debido a sus grado de protección evita una situación de mayor estado erosivo.

La distribución espacial de estas características se presenta en la figura 11, en donde es claro la predominancia de estados erosivos bajos o muy bajos en la cuenca, por efecto del grado de protección al suelo que brinda el bosque primario (ver figura 6, áreas verde claro).

Algo interesante es ver como las áreas de estado erosivo medio y grave (áreas verde oscuro y rojo) se concentran principalmente al sector izquierdo de la cuenca, lo cual es coincidente con el hecho de que ahí se concentran los niveles medios y altos de protección al suelo (ver figura 6, áreas verde oscuro y rojas); bajo un riesgo alto de erodabilidad (ver figura 10, área azul).

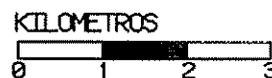
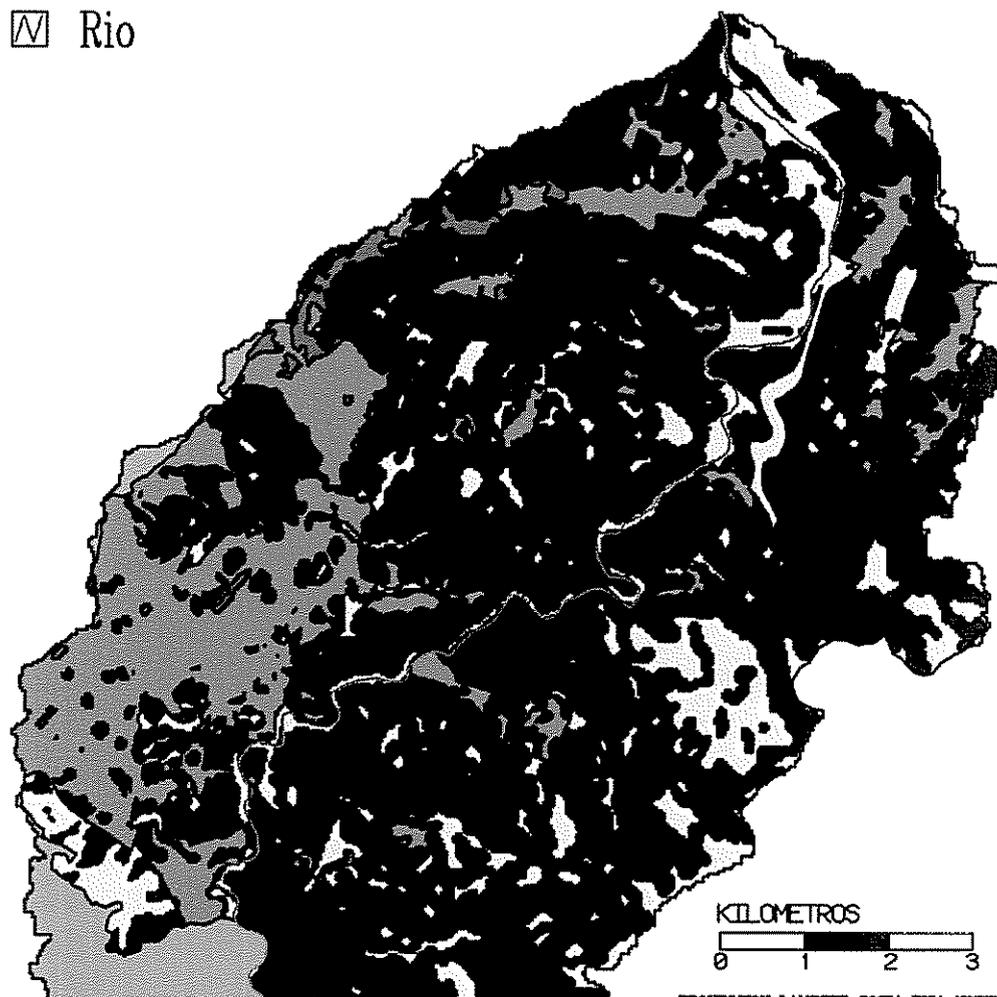
Es importante destacar el hecho de que bajo este nivel de riesgo alto, los grados de protección medianos y altos ofrecidos por diferentes tipos de coberturas producirán un estado erosivo mediano, como característica cualitativa adversa más abundante, encontrada hasta el momento. También es importante indicar que, sin importar el nivel de riesgo de erodabilidad del material parental, el grado de protección del bosque primario producirá siempre estados erosivos bajos o muy bajos (ver figura 11, área azul).

Esta conclusión comienza a dar una idea de las consecuencias de cambio de uso del bosque, producto de una ampliación de la frontera agrícola.

Finalmente el estado erosivo más adverso encontrado fue el grave (áreas rojas), el cual es producto de grados de protección al suelo medianos (generados principalmente por pastizales), bajo riesgos de erodabilidad muy altos. Afortunadamente son áreas minoritarias pero que ya comienzan a presentar síntomas de criticidad.

Según Carrera, et al (1991) esta etapa no solo es un buen indicador de la degradación ambiental de un área, sino que orienta el diseño de directrices de futuros planes de manejo en la cuenca; especialmente en la priorización de las labores de restauración hidrológico-forestal.

- Grave
- Medio
- Bajo
- Muy bajo
- Areas no clasificadas
- ▨ Rio



PROYECCION LAMBERT COSTA RICA NORTE

FIGURA 11: ESTADOS EROSIVOS PRESENTES  
 AREA DE ESTUDIO, RIO PACUARE

## **4.2 Identificación de los conflictos de uso**

Anteriormente la decisión de cómo usar la tierra tenía un enfoque tradicional, que se dirigía hacia la producción y venta de lo producido. Lo más importante era el mercado y no se tomaban en cuenta criterios ambientales, sociales y conservacionistas. Esto ha ocasionado usos conflictivos con las capacidades biofísicas de la tierra, que son importantes en la identificación de áreas críticas.

Para identificar estos usos conflictivos lo más común es la superposición física o topológica, de los mapas de capacidad de uso con el de uso actual. Esta comparación de lo ideal con lo real, permite obtener los tres niveles de conflicto tradicionales: Pleno uso, sobreuso y subuso.

### **4.2.1 Mapa digital de la capacidad de uso**

Como se explicó en la metodología, la fuente de información usada fueron mapas físicos escala 1:50.000, elaborados por el Centro Científico Tropical para Fundación Neotrópica. La metodología empleada para hacerlos fue la oficial para Costa Rica, que se titula: "Metodología para la Determinación de la Capacidad de Uso de las Tierras de Costa Rica" (MAG-MIRENEM, 1991).

Estos mapas son bastante detallados, pero tienen el inconveniente de que fueron orientados a detectar en detalle, la capacidad de uso de las tierras forestales del país. Lo anterior significa que todas las tierras de capacidad de uso agrícola o pecuario (Clases de I a IV) se incluyeron en una sola categoría, bajo el símbolo A. El resto corresponde a diferentes subclases de uso forestal o agroforestal (Clase V en adelante).

Aún así se consideraron buenas fuentes de información, ya que presentan una mayor cantidad y distribución de las áreas A, que otras fuentes consultadas. Además como ya se sabe que en la cuenca la superficie agropecuaria es reducida (11%), con respecto a la forestal u agroforestal (86%), fue preferible usar información más específica para estos últimos usos.

Ahora bien, los cuatro mapas digitalizados para la zona de estudio reportaron 23 subclases de uso, comprendidas en 4 clases diferentes. Las clases son grupos de tierras que presentan condiciones similares, en el grado relativo de limitaciones y riesgo de deterioro, para su uso en forma sostenible. Las subclases son grupos de tierras dentro de una clase, que tienen los mismos limitantes (MAG-MIRENEM, 1991).

Cada subclase presenta un máximo de cuatro limitantes y un mínimo de una, donde la primera limitante estará relacionada con la categoría de pendiente. El detalle de cada subclase se presentó en el cuadro 6.

En esta clasificación la clase A (clases I, II, III y IV) representa todas las áreas aptas para la producción agropecuaria. Aquí los rangos van desde zonas con poca o ninguna limitación (Clase I), hasta zonas con limitaciones que impiden la ganadería, y restringen la vegetación permanente y semipermanente. Estas limitaciones implican la implementación, de obras y prácticas de conservación de suelos y aguas.

La clase V representa tierras con severas limitaciones de profundidad, fertilidad, textura, relieve y pedregosidad; para cultivos anuales, semipermanentes, permanentes y forestal. Su uso se restringe al manejo del bosque natural o al pastoreo.

La clase VI puede tener limitantes de profundidad, fertilidad, textura, zona de vida, neblina, viento, relieve, erosión y pedregosidad; lo cual la hace apta para la producción forestal, frutales y café, con obras de conservación de suelos y aguas.

La clase VII presenta las anteriores limitantes pero en pendientes mayores al 50%, por lo que su capacidad de uso se restringe al manejo del bosque o a la regeneración natural si este ha sido removido.

La clase VIII se presenta en pendientes mayores al 75% y no reúnen las condiciones mínimas para las actividades de producción agropecuaria, o forestal alguna. La capacidad de uso es para la preservación de flora y fauna; protección de áreas de recarga acuífera; reserva genética; y belleza escénica.

El siguiente cuadro presenta la distribución porcentual de la capacidad de uso para la zona de estudio.

**CUADRO 17: CAPACIDAD DE USO DE LA TIERRA**

IDENTIFICADOR	CLASE DE USO	AREA (HA)	PORCENTAJE DE PARTICIPACION
1	Agropecuaria (clases I a V)	844.47	9.46%
2 a 14	VI	3,930.17	44.04%
15 a 19	VII	2,660.15	29.81%
20 a 23	VIII	1,489.86	16.69%
<b>TOTAL</b>		<b>8,924.64</b>	<b>100.00%</b>

Lo primero que se deduce es que la cuenca tiene mayoritariamente una vocación forestal y de protección. Las áreas agropecuarias no son ni el 10% y posiblemente requerirían totalmente de prácticas de conservación de suelos y aguas.

Sin embargo la porción más grande (44%) es de clase VI, la cual permite sistemas de producción forestal, agroforestal y de cultivos permanentes; siempre y cuando sean bajo condiciones de manejo adecuadas.

La figura 12 presenta la distribución espacial de esta capacidad de uso. De primera entrada se nota que los limitantes de uso aumentan hacia el interior de la cuenca, o hacia el río Pacuare.

Hacia el norte se presenta una gran área de clase A rodeando al río (zona amarilla), por lo que hay que tomar en cuenta que muchas de estas áreas se clasifican como A, por cuestión de pendiente y no por estabilidad de la zona. Muchos de estos terrenos planos son depósitos aluviales, que están hoy presentes y mañana el río se los puede llevar; por lo que no se pueden interpretar estrictamente, como terrenos aptos para la producción agropecuaria.

Hacia los bordes de la cuenca se presentan otras zonas de clase A, que por su ubicación sí se podrían considerar más apropiadas para la explotación agropecuaria. Sin embargo, hay que excluir las áreas que se clasifican como A y que se ubican en las zonas de deslizamientos.

A pesar de lo anterior, el mapa se analizó espacialmente con la información original y se generó el mapa de conflictos; por lo que los resultados se deben de interpretar tomando en cuenta las anteriores salvedades.

En términos generales las zonas de clase VI (áreas verdes) se distribuyen ampliamente por la cuenca, definiendo su vocación y restringiendo el uso hacia el río. Esta situación ya da una idea de que tipos de conflictos se pueden presentar con el uso actual.

- Clase A
- ▒ Clase VI
- Clase VII
- ▓ Clase VIII
- ▨ Rio

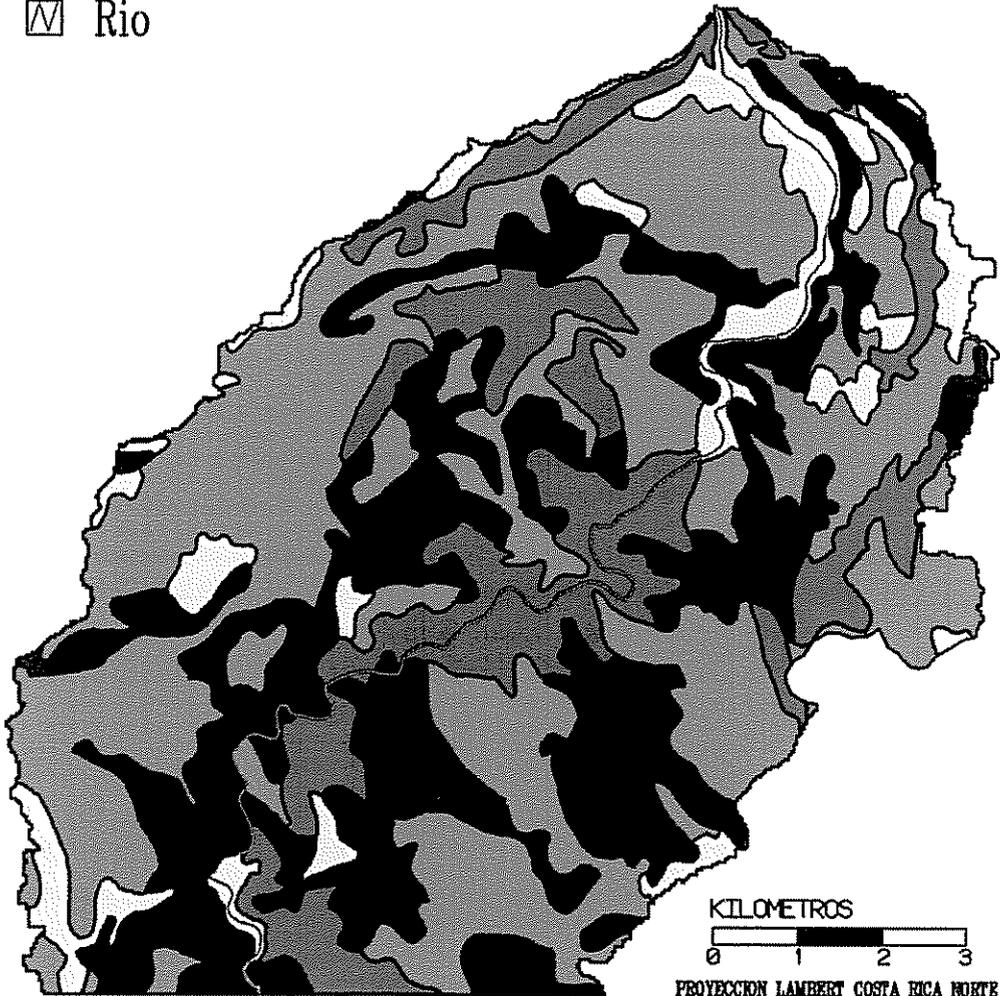


FIGURA 12: CAPACIDAD DE USO DE LA TIERRA

AREA DE ESTUDIO, RIO PACUARE

#### 4.2.2 Conflictos de uso

El siguiente cuadro presenta el resultado de la superposición topológica entre el uso actual y la capacidad de uso.

**CUADRO 18: CONFLICTOS DE USO EN LA ZONA DE ESTUDIO**

IDENTIFICADOR	TIPO DE CONFLICTO	AREA (HA)	PORCENTAJE DE PARTICIPACION
1	Pleno uso (PU)	7,064.09	79.15%
2	Sobreuso (SoU)	813.14	9.11%
3	Subuso (SuU)	733.67	8.22%
4	Areas no clasificadas (NC)	313.74	3.52%
<b>TOTAL</b>		<b>8,924.65</b>	<b>100.00%</b>

Satisfactoriamente se tiene que el 80% de la cuenca está a pleno uso, mientras que las áreas en conflicto están relativamente equilibradas y representan menos del 10% de la zona de estudio, respectivamente.

Es importante indicar que esta situación se debe no porque se haya alcanzado un excelente uso de los recursos, si no más bien por los siguientes hechos:

- Baja presión social por tierras en la zona.
- Deficientes vías de penetración.
- Obstáculos naturales (río, selva, etc.)
- Ausencia de una economía próspera en la región.

Por otra parte las zonas en conflicto indican una falta de conocimiento, sobre el potencial productivo de la cuenca. También indica una falta de planificación en cuanto a qué producir, cómo y por qué.

La figura 13 muestra la distribución espacial de los conflictos de uso. Como se puede apreciar, las áreas conflictivas se localizan mayoritariamente al extremo izquierdo de la cuenca (zonas de color rojo y azul), que es donde se asientan los principales caseríos y es donde existen más vías de comunicación (la carretera Turrialba-Siquirres pasa sobre la divisoria de aguas izquierda).

Otro aspecto interesante es el hecho de que las zonas de subuso y sobreuso aparezcan contiguas, lo que podría indicar una cierta sucesión de actividades. Las zonas en subuso son áreas de bosque mixto y secundario ubicadas en áreas de clase VI o clase A; mientras que las áreas de sobreuso son principalmente pastos y algunos cultivos, en zonas de clase VI, VII y VIII. En otras palabras se deduce lo siguiente:

- **Áreas de clase A:** Como se explicó anteriormente, estas áreas que presentan subuso se ubican en las márgenes del río y representan depósitos aluviales o playones. Esto significa un defecto en la clasificación de la capacidad de uso, la cual asignó una clase A a estos playones, por el sólo hecho de ser bastante planos. Lo correcto es definirlos como áreas de protección de riveras.
  
- **Áreas de clase VI:** las áreas de subuso fueron antiguamente bosques deforestados para dar paso a pastos o agricultura (se extrajo la madera importante). Posteriormente se abandonaron y vino la sucesión natural. Las áreas de sobreuso son las que actualmente están en producción agropecuaria y posiblemente se originaron cuando se abandonaron las zonas de actual subuso.

- Pleno uso
- Sobreuso
- Subuso
- Areas no clasificadas
- ▨ Rio

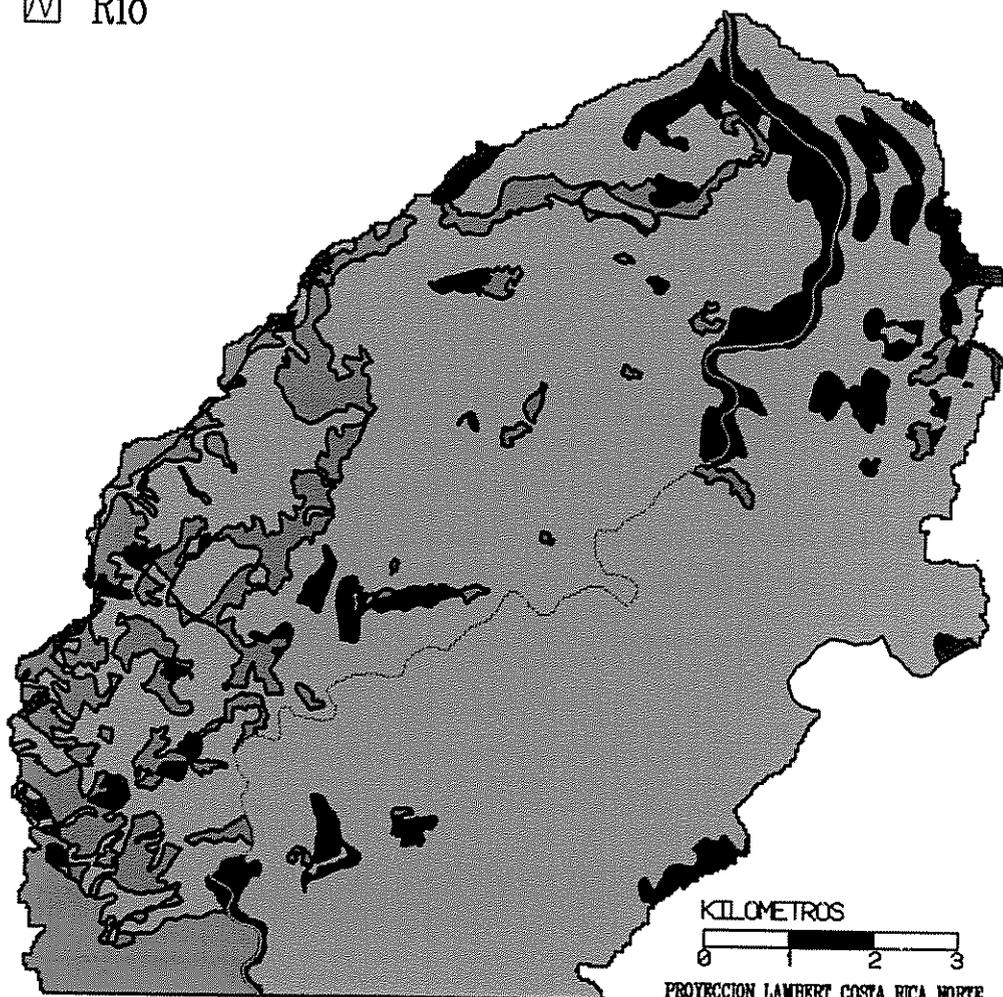


FIGURA 13: CONFLICTOS DE USO  
AREA DE ESTUDIO, RIO PACUARE

- **Areas de clase VII y VIII:** las áreas de sobreuso dentro de esta capacidad son las zonas de frontera agrícola. El resto de los usos actuales no es conflictivo.

Esta calificación de conflictos parece ser muy rígida, pues solamente da a escoger entre tres posibles alternativas; mientras que la naturaleza siempre tiene múltiples situaciones intermedias. Sin embargo para el nivel de detalle del presente estudio, se puede partir bien de esta clasificación tradicional.

#### 4.3 Mapa de riesgos de degradación

Una vez explicado el resultado obtenido a nivel de estados erosivos y a nivel de conflictos de uso, es fácil explicar este último resultado. El análisis espacial de estas dos variables se resume en el siguiente cuadro, donde se tiene que el 86% de la cuenca tiene muy bajo; bajo; o ningún riesgo de degradación; mientras que un 10.31% tiene desde medio a alto riesgo. Este 10% es lo que se considera como áreas críticas en la cuenca, desde un punto de vista biofisico.

**CUADRO 19: RIESGOS DE DEGRADACION PRESENTES**

IDENTIFICADOR	NIVEL DE RIESGO	AREA	PORCENTAJE DE PARTICIPACION
1	Sin riesgo	1,073.31	12.03%
2	Muy bajo	5,538.19	62.06%
3	Bajo	1,079.04	12.09%
4	Medio	238.42	2.67%
5	Alto	681.94	7.64%
6	Areas no clasificadas	313.75	3.52%
<b>TOTAL</b>		<b>8,924.65</b>	<b>100.00%</b>

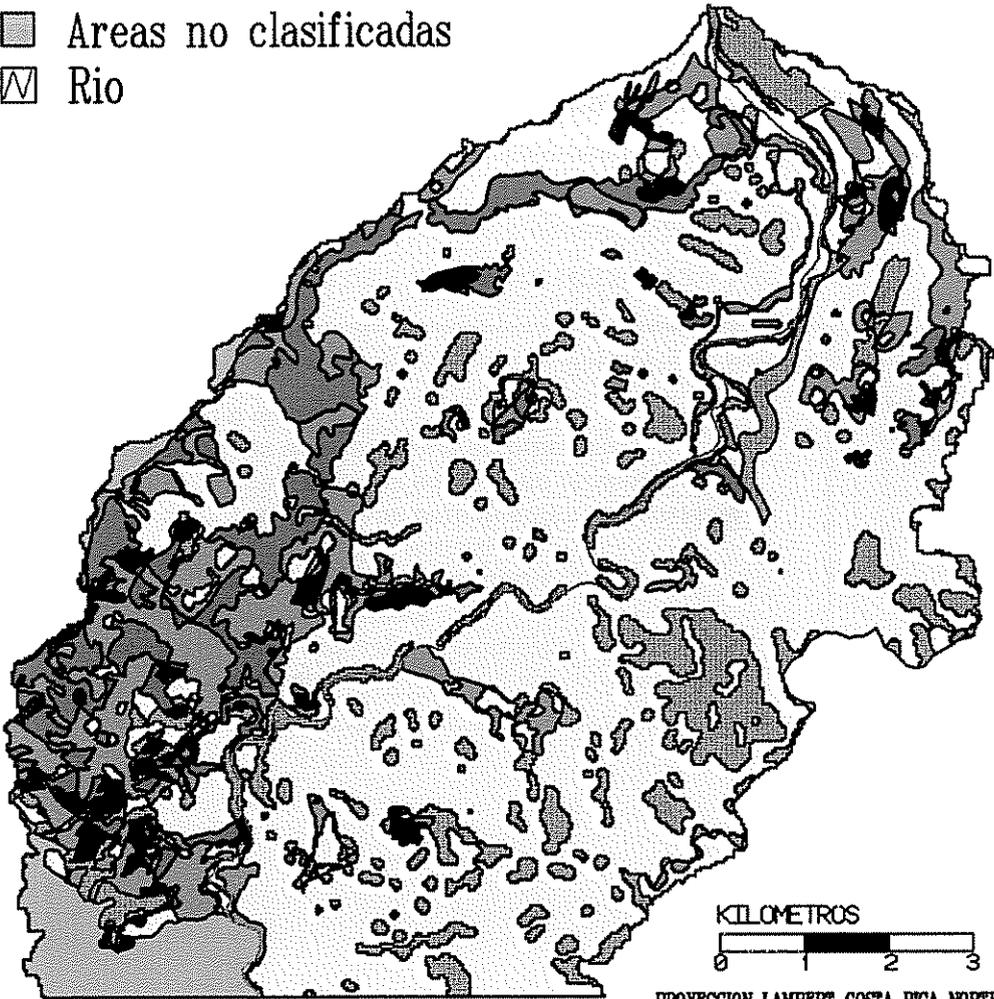
Si se observa la figura 14 se confirma el hecho de que estas áreas críticas (zonas azul oscuro y rojas) se localizan mayoritariamente en el extremo izquierdo de la cuenca. Si se compara esta figura con las 11 y 13 se puede entender mejor lo que está pasando.

Las áreas críticas se localizan principalmente en zonas de estado erosivo mediano (áreas verdes en figura 11) y algunas pocas se localizan en áreas de estado erosivo grave (áreas rojas). Sin embargo se puede decir que la zona en cuestión, tiene un estado erosivo no tan malo, pero si frágil.

El mapa de conflictos indica que las áreas críticas se forman con el sobreuso (ver cuadro 8). De esta manera se genera una criticidad mediana, cuando el sobreuso se presenta en un estado erosivo bajo; mientras que la criticidad alta se genera cuando el sobreuso se presenta en estados erosivos graves y medianos.

Como la mayoría del sobreuso se ubica menos sobre estados erosivos bajos y más sobre medios y graves, el riesgo de degradación alto es más abundante que el riesgo mediano.

- Sin riesgo
- Muy bajo
- Bajo
- Medio
- Alto
- Areas no clasificadas
- ▨ Rio



PROYECCION LAMBERT COSTA RICA NORTE

FIGURA 14: RIESGOS DE DEGRADACION

AREA DE ESTUDIO, RIO PACUARE

#### 4.4 Determinación de la tenencia y el valor de la tierra

En general, en el área de estudio predominan los pequeños y medianos productores (20 ha como promedio), mientras que los grandes son los menos (más de 70 ha). También en la zona existen dos comunidades organizadas: Linda Vista y Bajo Tigre. En la primera existe una asociación de productores de culantro coyote y en la segunda una junta de vecinos.

En los cuadros 20 y 21 se resumen las principales características, de los tipos de fincas definidos y agrupados según la metodología.

**CUADRO 20: CARACTERISTICAS DE LAS FINCAS MEDIANAS Y PEQUENAS**

Tipo de tenencia	Propia
Numero de propiedades	35
Tamano de finca promedio en ha	21.02
Proporcion de area dedicada a la ganaderia en promedio	50.6%
Proporcion de area dedicada a cultivos anuales en promedio	2.7%
Proporcion de area dedicada a cultivos permanentes en promedio	6.3%
Proporcion de area dedicada a bosque natural	11.0%
Proporcion de area dedicada a bosque secundario	0.0%
Proporcion de area dedicada a forestales	3.4%
Proporcion de area dedicada a charrales y tacotales	26.2%
Carga animal por ha en promedio	0.76
Valor promedio por ha	¢ 156,617.65

**CUADRO 21: CARACTERISTICAS DE LAS FINCAS GRANDES**

Tipo de tenencia	Propia
Numero de propiedades	6
Tamano de finca promedio en ha	75
Proporcion de area dedicada a la ganaderia en promedio	61%
Proporcion de area dedicada a cultivos anuales en promedio	0%
Proporcion de area dedicada a cultivos permanentes en promedio	1%
Proporcion de area dedicada a bosque natural	27%
Proporcion de area dedicada a bosque secundario	0%
Proporcion de area dedicada a forestales	0%
Proporcion de area dedicada a charrales y tacotales	11%
Carga animal por ha en promedio	0.97
Valor promedio por ha	¢ 166.657

Dentro de las agrupadas como pequeñas y medianas están 35 fincas, las cuales tienen aproximadamente 20 ha en promedio. Como se puede ver el uso es muy diverso. Predomina la ganadería (50.5%) y en menor medida la agricultura y la reforestación.

También hay mucha área de charrales y tacotales, lo que puede significar una mayor rotación de terrenos, o una mayor inconstancia en el uso de la tierra. La carga animal es baja (menor a 1 cabeza por ha) lo que indica que la ganadería es extensiva. El precio por ha en promedio es de ¢156.617.65.

Las fincas más pequeñas son menores a las 10 ha y las más grandes varían entre 30, 40 y hasta 70 ha. Sin embargo la mayoría son de estructura familiar, en donde a pesar del tamaño pertenecen a varios hermanos. Muchos de estos hermanos ya se han casado y viven en las propiedades paternas, por lo que al hacer una eventual repartición de la tierra, la tenencia se reduciría.

Esto es lógico en frentes de colonización en desarrollo, pues al principio cuando los servicios eran escasos o nulos, los primeros colonos eran muy pocos y la tierra era abundante. Conforme mejoran los servicios y la población aumenta, la presión por la tierra es mayor.

Un dato importante para este tipo de fincas es el surgimiento del culantro coyote como producto de exportación. Este es un cultivo bastante intensivo y en Linda Vista existe una sociedad que tiene dos años de exportarlo hacia los Estados Unidos. Si el mercado se consolida, posiblemente aumente el número de productores de culantro en la zona.

Las fincas consideradas como grandes tienen un uso más marcado (ver cuadro 21): ganadería (61%) o bosque natural (27%). Esto significa que siempre han sido áreas ganaderas desde que se deforestó y el remanente sigue siendo bosque natural. La ganadería también es extensiva, pero hay más carga animal en las fincas grandes que en las pequeñas. El precio promedio por ha es de \$166.667, el cual es ligeramente superior al valor estimado para las fincas pequeñas y medianas. Generalmente el dueño no vive en la propiedad y esta tiene una estructura más empresarial.

Algunos datos comunes para ambos tipos de propiedad son:

- Utilizan pastos criollos.
- La infraestructura más común de encontrar aparte de humildes viviendas son corrales y mangas de embarque de ganado.
- Generalmente las fincas tienen abundantes fuentes de agua. Sin embargo esta es más abundante en las partes bajas, que en las cercanías a la divisoria de aguas.
- Existe un desconocimiento total de prácticas de conservación de suelos y aguas.
- La reforestación no es tecnificada o dirigida.
- La tenencia de la tierra es propia.

Por otra parte, la colonización no es masiva todavía, y se muestra un subuso general de los recursos naturales. El valor de la propiedad es muy variable y depende del momento de compra y venta; así como de la situación particular del vendedor. Generalmente se ha detectado un precio mayor cerca de la carretera y otros servicios adicionales (agua, electricidad, teléfono); el cual decrece conforme estos servicios desaparecen.

#### 4.5 Integración de datos biofísicos con los socioeconómicos

Los siguientes cuadros presentan el resultado del análisis espacial entre las áreas críticas y las superficies de los grupos de fincas.

**CUADRO 22: DISTRIBUCION DEL NIVEL MEDIO DE RIESGO POR TIPO DE PROPIEDAD**

CATEGORIA	TIPO DE FINCA	AREA (HA)	PORCENTAJE DE PARTICIPACION
I	1	61.86	26.11%
III	2	17.45	7.37%
V	3	94.82	40.01%
VII	4	25.06	10.58%
IX	5	29.12	12.29%
XI	6	8.64	3.64%
<b>TOTAL</b>		<b>236.95</b>	<b>100%</b>

**CUADRO 23: DISTRIBUCION DEL NIVEL ALTO DE RIESGO  
POR TIPO DE PROPIEDAD**

CATEGORIA	TIPO DE FINCA	AREA (HA)	PORCENTAJE DE PARTICIPACION
II	1	239.89	35.20%
IV	2	144.67	21.23%
VI	3	225.64	33.11%
VIII	4	7.53	1.11%
X	5	53.48	7.85%
XII	6	10.32	1.51%
<b>TOTAL</b>		<b>681.52</b>	<b>100%</b>

Antes de entrar a analizar estos resultados, es bueno recordar la codificación establecida en la metodología, para cada grupo de fincas; por lo que se describen de nuevo a continuación:

**Código 1:** Aquí se agrupan fincas pequeñas y medianas que se caracterizan por tener un sólo dueño, o por ser la tenencia de estructura familiar.

**Código 2:** Se agrupan fincas medianas de un sólo dueño, con estructura empresarial.

**Código 3:** Se agrupan fincas grandes de un sólo dueño, con estructura empresarial.

**Código 4:** Fincas privadas sin producción aparente y ubicadas en las afueras de la reserva forestal.

**Código 5:** Fincas privadas sin producción aparente y ubicadas dentro de la reserva forestal.

**Código 6:** Reserva indígena.

**Código 7:** Areas no clasificadas.

Ahora bien, el nivel crítico medio suma un total de 237 ha y es más distribuido que el nivel alto, predominando entre las fincas de tipo 3, es decir fincas grandes de un solo dueño y con estructura empresarial. El segundo tipo de finca en importancia es el 1, el cual se refiere a fincas pequeñas y medianas de estructura familiar. Posteriormente se distribuye en proporciones similares entre los tipos 4 y 5, y 6 y 2 respectivamente.

Definitivamente el tipo de producción agropecuaria que se está dando en estas áreas no es el adecuado, y podría decirse que esta distribución del nivel medio representa el piso crítico, presente en la mayoría de los estatus posesorios de la cuenca.

En el caso del nivel alto este suma 682 ha y es predominante en las actuales fincas de producción: pequeñas, medianas y grandes, casi sin ninguna diferencia entre las fincas pequeñas familiares (tipo 1) y las grandes empresariales (tipo 3). Por lo tanto, en el caso de las primeras la criticidad vendría por la mayor diversidad de actividades (más intensidad de labores en menos área). En el caso de las segundas la principal causa es la ganadería extensiva no tecnificada, que expone grandes áreas de potreros a los factores climáticos y al pisoteo del ganado.

Finalmente es importante referirse a lo que sucede en las fincas tipo 5. Estas fincas tienen un estatus privado y están dentro de la reserva forestal. En ambos niveles de riesgo es la participación porcentual minoritaria más abundante. Como en estas áreas no existen vías de comunicación adecuadas y la producción que de ahí sale se considera marginal, se podría pensar que se trata de actividades extractivas de madera

(posiblemente ilegales), las que están ocasionando la criticidad.

Otro hecho importante de resaltar es que generalmente las fincas tipo 4 presentan menos criticidad que las tipo 5. Hay que recordar que ambos tipos se refieren a fincas marginales, sin producción aparente y por lo general sin facilidades de acceso. La diferencia es que las segundas están dentro de la reserva forestal, mientras que las primeras no.

Este hecho refuerza la idea de que se está dando una actividad extractiva de madera dentro de la reserva, de tal forma que está ocasionando una mayor criticidad en estas áreas marginales.

La figura 15 ilustra como se distribuyen espacialmente las anteriores características. Aunque el mapa no es claro en cuanto a identificar cada estatus posesorio, si es evidente en mostrar como las áreas críticas se distribuyen mayoritariamente, hacia el sector izquierdo de la cuenca.

Hacia la margen derecha del río, se tiene la Reserva Indígena Awari, la Reserva Forestal Pacuare, algunas fincas ganaderas, y la compañía Forestales Las Huacas S.A. En toda esta zona la criticidad está muy localizada y predomina el nivel de riesgo de degradación medio. Esa situación se relaciona con el hecho de que es una zona de acceso limitado; de uso más restringido; y menos colonizada (predominancia de fincas tipo 3, 4, 5 y 6).

Como se mencionó anteriormente, donde predomina más el nivel de riesgo de degradación alto es en el sector izquierdo, incidiendo más hacia el sur y disminuyéndose hacia el noreste. Esto es lógico si se toma en cuenta que en ese sector sur es donde empezó la colonización de la zona y es donde se agrupan las fincas tipo 1 y tipo 2. Hacia el sector noreste predominan las fincas tipo 3 y 4, las cuales tienen un uso marcadamente ganadero.

- Riesgo medio
- Riesgo alto
- ▨ Rio

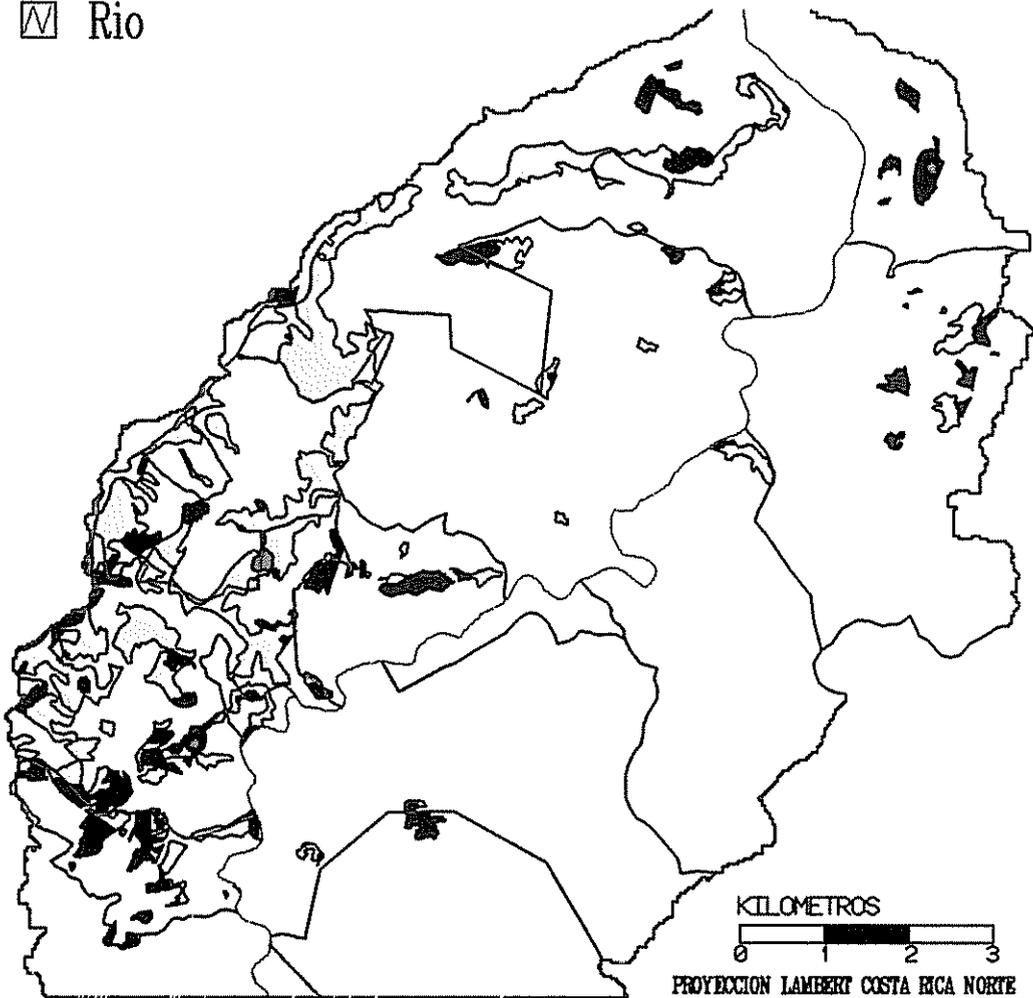


FIGURA 15: AREAS CRITICAS Y PROPIEDADES

AREA DE ESTUDIO, RIO PACUARE

## CAPITULO 5

### CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

#### 5.1 Conclusiones del presente trabajo de investigación

##### a) Calidad de la información primaria y secundaria

- 1) Hay que considerar que todas las fuentes de información cartográfica inducen algún grado de error debido a cuestiones de trazado, de impresión, diferencias de escala, transformaciones digitales, etc.
- 2) Se debe tener especial cuidado con las fotografías aéreas debido a los errores que se inducen, por las distorsiones presentes en la misma y por la diferencias de escala. Esto es muy importante de considerar sobre todo cuando la información obtenida de la foto se va a manipular espacialmente, con datos de otras fuentes (mapas 1:50.000, modelos de elevación digital, etc).
- 3) El determinar la tenencia de la tierra en Costa Rica a través de estudios registrales es bastante difícil de hacer, debido a la ausencia de información básica sistematizada. A parte del tiempo y dinero que tomaría hacer dicho estudio vía información registral, la información que se obtendría sería bastante imprecisa.
- 4) En el país no existe un patrón o metodología fija para valorar la tierra, por lo que esta se valora subjetivamente, con tendencias a la especulación en muchos casos.

- 5) El obtener información socioeconómica a través de encuestas es una opción que se está agotando en Costa Rica. Por lo general el campesino costarricense siente que se está obteniendo información de él y que no se va a beneficiar de nada.

**b) Condiciones de la zona de estudio**

- 1) La cuenca tiene mayoritariamente una vocación forestal y de protección. Las áreas agropecuarias no son ni el 10% y posiblemente requerirían totalmente de prácticas de conservación de suelos y aguas.
- 2) La clase VI es la capacidad de uso más abundante en la zona (44%), la cual permite sistemas de producción forestal, agroforestal y de cultivos permanentes; siempre y cuando sean bajo condiciones de manejo adecuadas.
- 3) El estado erosivo bajo es el predominante en la cuenca. A pesar de que mayormente esta tiene un material parental ubicado bajo condiciones de alto riesgo de erosión; el estado erosivo se minimiza por efecto del grado de protección de la cobertura dominante.
- 4) En el área de estudio predominan los pequeños y medianos productores (20 ha como promedio), mientras que los grandes son los menos (más de 70 ha).
- 5) La ganadería es la principal actividad productiva de la zona y se sustenta mayormente en pastizales poco degradados. A pesar de esto el uso dominante de la tierra es el bosque primario, debido a la poca presión social por tierras y a la ausencia de una economía próspera.

- 6) Si el mercado de culantro coyote costarricense se consolida en el extranjero, el número de productores de culantro aumentaría en la zona. Esto sería un problema importante, pues el culantro se sembraría en terrenos con otra vocación (clase VI en adelante).

**c) Areas de conflicto**

- 1) La cuenca no está fuertemente en conflicto, pues el 80% está a pleno uso y un 20% está en conflicto. Estas áreas conflictivas se localizan mayoritariamente en el sector izquierdo de la cuenca, que es la zona donde se asientan los principales caseríos y donde existen más vías de comunicación (la carretera Turrialba-Siquirres pasa sobre la divisoria de aguas).
- 2) El 86% de la cuenca tiene un nivel bajo de riesgo, o ningún riesgo de degradación; mientras que un 10.31% tiene desde un nivel medio de riesgo, hasta un nivel alto. Esta últimas áreas son las consideradas como críticas.
- 3) El mapa de conflictos de uso indica que las áreas críticas se forman con el sobreuso. De esta manera se genera una criticidad mediana, cuando el sobreuso se presenta en un estado erosivo bajo; mientras que la criticidad alta se genera cuando el sobreuso se presenta en estados erosivos graves y medianos.
- 4) Como la mayoría del sobreuso se ubica menos sobre estados erosivos bajos y más sobre medios y graves, el riesgo de degradación alto es más abundante que el riesgo mediano.

- 5) La distribución del nivel medio de riesgo representa el piso crítico presente, en la mayoría de los estatus posesorios de la cuenca.
- 6) En las fincas pequeñas y medianas el nivel alto de criticidad vendría por la mayor diversidad de actividades (más intensidad de labores en menos área).
- 7) En las fincas grandes la principal causa de la alta criticidad es la ganadería extensiva no tecnificada, que expone grandes áreas de potreros a los factores climáticos y al pisoteo del ganado.

**d) Aspectos metodológicos**

- 1) La metodología propuesta para definir la litología tiene la ventaja de que es rápida de hacer; si se conocen las formaciones geológicas y si se cuenta con el asesoramiento de geólogos, que estén en capacidad de discriminar sobre la roca más abundante y sobre el grado de resistencia a la erosión.
- 2) El análisis espacial es lo que permitió crear nuevos datos sin mapear. También permitió combinar múltiples temas, con el fin de descubrir nuevas relaciones espaciales entre los mismos y visualizar mejor su complejidad. De esta forma se comprobó que el SIG funcionó para las intenciones propuestas en los objetivos, y corroboró todas y cada una de las hipótesis planteadas.
- 3) Este nuevo diseño metodológico fue suficiente para identificar diferentes niveles de riesgo de degradación, como características cualitativas indicadoras de criticidad.

También la metodología permitió la incorporación de información socioeconómica, que se usó para caracterizar mejor a las áreas críticas.

- 4) A pesar de que fue posible integrar datos biofísicos con datos socioeconómicos y manipularlos espacialmente; el objetivo de hacer un estudio de tenencia, uso y valoración de la tierra se cumplió sólo parcialmente. La información obtenida no es suficiente para caracterizar completamente el área y sólo permite una idea muy general de los tipos de explotaciones presentes.
- 5) El levantamiento catastral es muy aproximado, pues fue hecho en el campo y trazado sobre la fotografía aérea. Aún así, este levantamiento permitió una buena referencia sobre el tipo y distribución de las principales propiedades en el área de estudio.

## **5.2 Recomendaciones generales**

- 1) Debido a que la cuenca está bastante protegida, el manejo de la misma se debe de orientar hacia las áreas críticas y su prevención.
- 2) Las actuales áreas críticas se deben de corregir bajo dos ópticas: la del pequeño y mediano productor, y la del grande. Con el pequeño y el mediano se puede hacer un cambio dirigido a través de labores de extensión. Con el grande hay que pensar en un accionar político-institucional, externo a la cuenca.
- 3) La ganadería en la zona debería sustituirse en las áreas de alto riesgo, mientras que en las de mediano riesgo se podría buscar un paquete tecnológico adecuado.

- 4) A nivel de cultivos anuales se debe pensar en un programa de extensión en prácticas de conservación de suelos y aguas.
- 5) Cualquier cambio en la producción de la zona, debe de estar respaldado por un cambio económico hacia arriba para el productor y no hacia abajo. Debido a esto, se debe garantizar que las nuevas recomendaciones tengan un atractivo económico y un buen mercadeo.
- 6) Si se quiere profundizar en el detalle de algunas de las variables aquí tratadas, se necesitarían estudios más específicos, en forma de etapas posteriores. Algunos de estos estudios podrían referirse a un ordenamiento del uso de la tierra; analizar la factibilidad de la reforestación en la zona; a la búsqueda de tecnologías agrosilvopastoriles; a la factibilidad de proyectos de ecoturismo y conservación. También se podría estudiar más sobre el tipo de agricultor presente en la zona; sus principales necesidades; tradiciones; capacidad de organización; etc.
- 7) Como el culantro coyote para exportación es la respuesta más inmediata y más atractiva por el momento, se debe de pensar en analizar más la posible zonificación de dicho cultivo en el área de estudio. Además es importante implementar prácticas de conservación de suelos apropiadas para la zona y para el tipo de cultivo.
- 8) Para recolectar información socioeconómica, es necesario que el campesino esté convencido de la utilidad de brindar dicha información. La encuesta es un instrumento muy viciado, que podría sustituirse por técnicas de entrevista más participativas, menos sistemáticas, más improvisadas y más amenas para el

agricultor. Hay que tratar de sustituir el interrogatorio por la conversación.

- 9) Cualquier futuro proyecto o programa a implementar en la zona, se debe de canalizar a través de los grupos organizados en Linda Vista y en Bajo Tigre. Las técnicas de participación comunitaria son las que deben de prevalecer.

## BIBLIOGRAFIA

AGENCY FOR INTERNATIONAL DEVELOPMENT (USAID). 1989. Regional environmental and natural resources management. Project paper (PP). 327p.

AZAR, K.T.; FERREIRA, J.; JAMAL, A.; TAREK, K. 1994. Reconstruction in postwar Beirut. Geo Info Systems (EE UU). 4(7): 34-41 pp.

—ARANA LOPEZ, G.A. 1992. Análisis espacial para evaluar la erosión hídrica en la subcuenca del río Pensativo, Guatemala. Tesis Mag. Sc. Turrialba, C.R., CATIE. 118 p.

—CABRERA CRUZ, RUDY OSBERTO. 1987. Identificación de áreas críticas con base en criterios biofísicos y análisis básico de degradación específica y transporte de sedimentos, en al cuenca superior del Río Chixoy, Guatemala. Tesis Mag. Sc. Turrialba, C.R., CATIE. 174 p.

CAMPOS ARANDA, D.F. 1992. La cuenca hidrográfica y su funcionamiento. 3p. (Mimiografiado).

\_\_\_\_\_. 1992. Perturbaciones que ocurren en las cuencas hidrográficas. 2p. (Mimiografiado).

—CARRERA MORALES, J.A.; ROJO SERRANO, L.; RUIZ SINOGA, J.D.; SANCHEZ PALOMARES, P. 1990. Primera aproximación para la elaboración de la metodología común de cartografía de la erosión hídrica en el Mediterráneo. ICONA/FAO/UNEP. 25-32 pp.

- CASTILLO AGUILAR, V.M. 1992. Estimación de la erosión del suelo a nivel de cuenca, utilizando análisis espacial y percepción remota en El Salvador. Tesis Mag. Sc. Turrialba, C.R. 69 p.
- CAURA. 1994. Evaluación del impacto ambiental del sistema hidroeléctrico Guayabo y Siquirres. Informe final. San José, Costa Rica. 9v.
- CENTRO INTERAMERICANO DE DESARROLLO INTEGRAL DE AGUAS Y TIERRAS. 1984. Diagnóstico físico conservacionista en cuencas hidrográficas. Mérida, Ven., Ministerio del Ambiente y de los Recursos Naturales Renovables. 63 p.
- DOUROJEANNI, AXEL. 1994. Políticas públicas para el desarrollo sustentable: La gestión integrada de cuencas. Santiago de Chile. CEPAL. 19-27 pp.
- ESRI. 1994. Introducción a PC ARC/INFO, versión 3.4 D PLUS. Análisis y consulta de la base de datos. Redlands (EEUU). 30-64 pp.
- ESTMAN, R. 1992. IDRISI. Technical reference. Versión 4.0. Worcester, Massachusetts, EE.UU. Clark University 202 p.
- ⇒ FAUSTINO, J. 1987. Variables determinantes en la identificación de áreas críticas en tierras de ladera. En: Conferencia usos sostenibles de tierras en laderas (Quito y Salcedo, Ecuador) Memoria, Tomo I. Washington D.C. EE.UU. Development Strategies for Fragile Lands (DESFIC).
- \_\_\_\_\_ 1994. Curso planificación de uso de la tierra en manejo de cuencas. Notas de clase. s.n.t.
- \_\_\_\_\_ 1994. Curso manejo de cuencas hidrográficas. Notas de clase. s.n.t.

- FRANK, A.U. 1988. Requirements for a database management system for a GIS. Photogrammetric engineering and remote sensing. 1557-1564 pp.
- ⇐ GONZALEZ FIGUEROA ALAN ROBERTO. 1986. Identificación de áreas críticas y formulación de directrices generales para un desarrollo sostenido, en la cuenca del Río Grande de Térraba, Costa Rica. Tesis Mag. Sc. Turrialba, C.R., CATIE. 118 p.
- GOODCHILD, M.F. 1988. Towards an enumeration and classification of GIS functions. In: Aangebrug R.T., Schiffman Y.M. (eds.). International geographic information system (IGIS) symposium: The research agenda. AAG, Falls Church Virginia. 67-77 pp.
- GUSTAVSON C., GREG. 1981. Farmland protection policy: The critical area approach. Journal of soil and water conservation. V 36(4). 194-198 pp.
- HYMAN, GLENN. 1990. Identification of critical sources areas of sediment pollution: South Fork, New River. Tesis M.A. North Carolina, EE.UU. Appalachian State University. 64 p.
- KIRKBY, M.J.; MORGAN, R.P.C. 1984. Erosión de suelos. Comp. por M.J. Kirkby y R.P.C. Morgan. México D.F., México. Limusa. 375 p.
- LECLERC, G.; VELASQUEZ, S.; FAUSTINO, J.; HALL, CH. 1995. Determinación de áreas críticas dentro del ACCVC. 11 p. (Mimiografiado).
- LEONARD, H.J. 1986. Recursos naturales y desarrollo económico en América Central: un perfil ambiental regional. Trad. G. Budowski y T. Maldonado. San José, C.R., CATIE. 267 p.

- LINDARTE, E.; BENITO, C. 1991. Agricultura sostenible de ladera en América Central: Instituciones, tecnología, política. In Taller Agricultura Sostenible en las Laderas Centroamericanas: Oportunidades de Colaboración Interinstitucional (1991, San José, C.R.) San José, C.R., IICA-CATIE-CIAT-CIMMYT. 82 p.
- LOPEZ ROLDAN ALFONSO, et al. 1984. Proyecto de conservación de suelos y aguas: Microcuenca Velamocco-Puno. Estudio de factibilidad. Lima, Perú. Ministerio de Agricultura, DGASI. 238p
- LULL, K.J. 1995. Assessing nonpoint-source pollution risk. *Journal of Forestry* (EE UU). 93(1):35-40 pp.
- MAAS, R.P.; SMOLEN, M.D.; DRESSING, S.A. 1985. Selecting critical areas for nonpoint source pollution control. *Journal of soil water conservation*. V 40(1). 68-71 pp.
- MATA, A.; QUEVEDO, F. 1994. Diccionario didáctico de ecología. Primera edición. San José, C.R., Editorial de la Universidad de Costa Rica. 396 p.
- MAGUIRE, D.J. 1991. An overview and definition of GIS. In: Maguire D.J.; Goodchild D.F.; Rhind D.W. (eds). *Geographical Information System: principles and applications*. Logman, London (UK). 9-19 pp.
- MILLER, K. 1980. Planificación de parques nacionales para el ecodesarrollo de América Latina. Madrid, España. FEPMA. 500 p.
- MURILLO, W.; HERRERA, G.; ALFARO, R.M.; MALAVASSI L. 1985. Evaluación de los recursos biológicos del río Pacuare y áreas adyacentes. Programa de Patrimonio Natural, Parques Nacionales.

- SABORIO, J. 1988. La percepción remota y su aplicación en la evaluación de los recursos naturales. Turrialba, C.R. CATIE. 26 p.
- ↳ SANCHEZ ESCOTO, O.A. 1993. Determinación de áreas críticas mediante sistemas de información geográfica, cuenca del río reventado, Costa Rica. Tesis Mag. Sc. Turrialba, C.R. 116 p.
- ↳ SHENG, T.C. 1992. Manual de campo para la ordenación de cuencas hidrográficas: Estudio y planificación de cuencas hidrográficas. Guía FAO Conservación 13/6. 3-4 pp.
- VELASQUEZ M., S. 1994. Curso sistemas de información geográfica. Turrialba, C.R. CATIE. 164 p.
- ↳ VILLA CAIGUA, ANGEL B. 1989. Identificación de áreas críticas en la cuenca del río Banano, Costa Rica. Tesis Mag. Sc. Turrialba, C.R.