



# USO DE UN SISTEMA DE INFORMACIÓN GEOGRÁFICA (SIG) en la identificación de degradación de tierras y recursos hídricos

Fernando Sáenz, Steven Shultz, Glenn Hyman

## RESUMEN

El estudio prueba una metodología, para identificar áreas críticas de degradación producto de un mal uso del recurso bosque a nivel de una cuenca hidrográfica. Esta metodología utiliza el SIG como herramienta clave, para procesar y analizar espacialmente, toda la información primaria de campo, e información secundaria obtenida. La metodología fue adaptada a las condiciones tropicales del Río Pacuare, Costa Rica, el cual tiene una cuenca poco intervenida, con usos múltiples actuales y potenciales; tales como ecoturismo, agricultura, reserva de biodiversidad, fuente de agua potable, producción de madera, y energía hidroeléctrica. Los resultados obtenidos mostraron la utilidad del SIG para ordenar y analizar datos complejos, sobre los recursos agua, suelo y bosque, a nivel de un sector de la cuenca hidrográfica.

## SUMMARY

**Use of a Geographic Information System (GIS) for identifying degraded lands and hydric resources.** A Geographic Information System (GIS) was used to identify degraded lands associated with deforestation in the pristine Pacuare River watershed of Costa Rica. GIS coverages representing actual land uses, and land use capacity were spatially overlaid along with slopes, and levels of potential soil erosion in order to classify specific land areas with alternative levels of land degradation risk in the watershed. Such information is considered critical for holistic watershed management planning activities in this Central American watershed.

**Palabras clave:** Cuencas hidrográficas; Degradación ambiental; Recursos hídricos; Sistema de Información Geográfica; Río Pacuare; Costa Rica.

*Aunque a primera vista se puede identificar cuando una cuenca hidrográfica presenta síntomas de degradación en el suelo, agua y bosque, es más difícil determinar la ubicación específica de las áreas en donde ocurre dicha degradación. Asimismo, no es fácil determinar el entorno socioeconómico de estas áreas, las cuales explican bastante el proceso de degradación.*

*Esta información es necesaria para diseñar proyectos específicos de rehabilitación y manejo de cuencas, que favorezcan una mejor planificación del uso de la tierra. Debido a que, generalmente los recursos financieros son escasos, primero, es necesario, identificar áreas prioritarias o áreas críticas de trabajo.*

*El presente caso de estudio se realizó en un sector de la parte media de la Cuenca del Río Pacuare, localizada en la Vertiente Atlántica de Costa Rica. Esta zona tiene una superficie aproximada de 89,25 km<sup>2</sup>; comprende 26 km de río; y posee un relieve*

*general muy irregular que presenta áreas con pendiente moderada y otras con pendiente fuerte. Es una zona muy especial, en donde interactúan diversos intereses de conservación y utilización del suelo, agua y bosque. (Figura 1)*

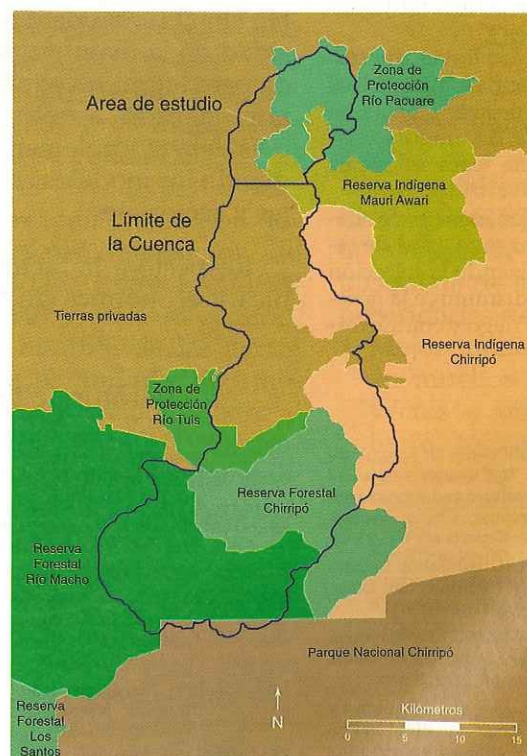


Figura 1. Localización de la Cuenca del Río Pacuare, Vertiente Atlántica, Costa Rica.

El objetivo de este estudio es adaptar y probar una metodología cualitativa para identificar procesos de degradación. Para lograr este objetivo se probó la utilidad del Sistema de Información Geográfica (SIG), para procesar y analizar la información biofísica y socioeconómica. De esta forma, se generaron nuevos datos del uso de la tierra; las condiciones bajo las cuales se usa esta tierra; las consecuencias de ese uso; y las posibles opciones que eliminen o atenúen los efectos del mal manejo. (Figuras 2 y 3)

### Metodología cualitativa

La metodología propuesta se compone de tres etapas: 1) revisión de fuentes de información sobre la cuenca del Río Pacuare, 2) reconocimiento de campo y 3) trabajo de laboratorio en donde se procesó, manejó y analizó, espacialmente la información obtenida; utilizando el sistema de información geográfica PC ARQ/INFO. La Figura 2 muestra un esquema de todos los pasos metodológicos seguidos, y los cuales se explican con amplio detalle en Sáenz (1995).

La base de esta metodología cualitativa es de origen español (Carrera *et al.* 1990) y fue adaptada a condiciones tropicales. La información que se buscó generar espacialmente fue: 1) estados erosivos presentes; 2) conflictos de uso de la tierra; y 3) identificación de áreas críticas de degradación y su entorno socioeconómico.

Los parámetros que determinan las tres anteriores cartografías resultantes se estimaron cualitativamente, en su interacción en matrices de doble entrada. La asignación cualitativa en cada caso se hizo en consulta permanente con expertos en geología, pedología, uso del suelo y geografía.

Esta primera estimación se considera suficiente, tomando en cuenta lo siguiente: 1) se trata de un nivel de planificación todavía bastante general (escala 1:50 000); 2) la disponibilidad de información previa era bastante alta y muy compatible en el ajuste de la metodología; y 3) se desea probar la utilidad del SIG en este proceso de adaptación metodológica, pues la metodología original de Carrera, *et al.* (1990) no incluía el uso del SIG.

de 11 tipos de cobertura vegetal. De esta cobertura se obtuvieron dos más: uso actual de la tierra y b) grados de protección del suelo. Esta última se define cualitativamente con los siguientes parámetros del CIDIAT (1984).

1. Grado muy alto: bosques densos. Índice de protección al suelo de 1.
2. Grado alto: bosques con dosel más abierto. Índice de protección al suelo de 0,8 a 0,9.

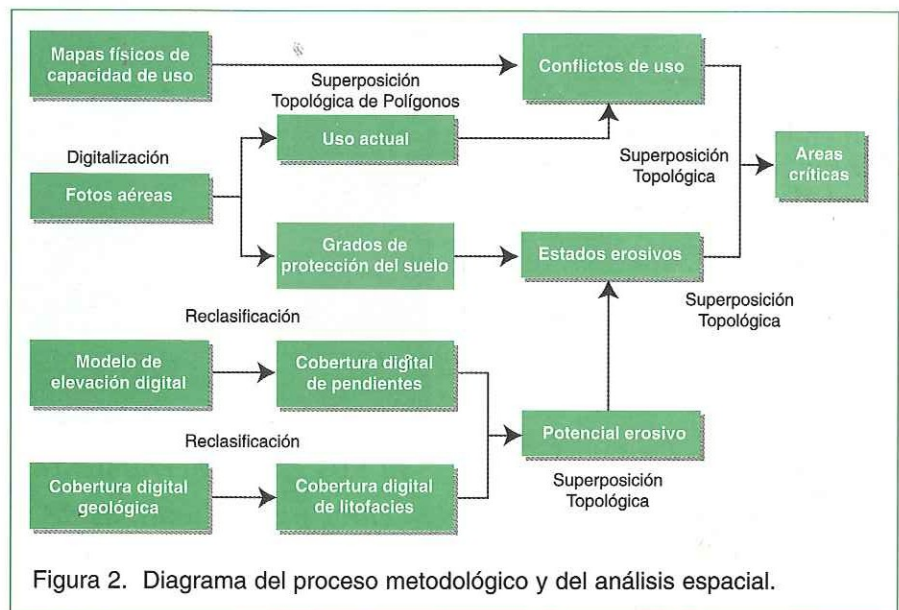


Figura 2. Diagrama del proceso metodológico y del análisis espacial.

En esta metodología usaron cartografías físicas y digitales (coberturas), tales como mapas físicos a escala 1:50 000; fotografías aéreas de 1992 a escala 1:60 000 y ampliadas a 1:30 000; un modelo de elevación digital para la cuenca, y una cobertura digital sobre la geología de la zona. Además, se incorporó un sondeo socioeconómico de la zona de estudio.

### Estados erosivos presentes en la cuenca

En esta etapa las fotos aéreas se fotointerpretaron, se hicieron confirmaciones de campo, se georeferenciaron, y finalmente se generó una base de datos digital

3. Grado medio: bosques remanentes de dosel muy abierto, pastizales, charrales y cultivos mixtos. Índice de protección al suelo de 0,3 a 0,7.

Posteriormente, se identificó el potencial erosivo en la cuenca. Para esta etapa se creó primero una cobertura de litologías (a partir de la cobertura geológica) y luego se generó otra de pendientes a partir del modelo de elevación digital. Por medio de la superposición topológica de la cobertura de litología con la de pendientes, se obtuvo una nueva cobertura con el potencial erosivo o riesgo de erodabilidad de la cuenca. (Cuadro 1).

Cuadro 1. Niveles de erodabilidad (potencial erosivo o riesgo).

Categorías de pendiente	Litología				
	Rocas igneas	Calcarenitas y calcilutitas	Rocas siliciclasticas	Conglomerados	Coluvios y aluviones
Suave (0-12%)	Muy bajo	Muy bajo	Bajo	Medio	Medio
Moderada (12-25%)	Bajo	Bajo	Medio	Alto	Alto
Fuerte (25-50%)	Bajo	Medio	Alto	Alto	Muy alto
Muy fuerte (50-75%)	Medio	Medio	Alto	Muy alto	Muy alto
Escarpado (>75%)	Alto	Alto	Muy alto	Muy alto	Muy alto

Haciendo una superposición topológica de la cobertura de niveles de protección del suelo con la de riesgo de erodabilidad, se obtuvo la cobertura de estados erosivos presentes. Siguiendo esta etapa se deriva una cobertura que integra aspectos relativos al suelo y sus características, con el papel que desempeña la vegetación en la protección del mismo. El resultado es un mapa digital de estados erosivos en función de distintos niveles cualitativos de protección. (Cuadro 2).

Cuadro 2. Identificación de los estados erosivos presentes.

Potencial Erosivo	Grado cualitativo de protección		
	Muy alto	Alto	Medio
Muy bajo	Muy bajo	Muy bajo	Muy bajo
Bajo	Muy bajo	Muy bajo	Bajo
Medio	Muy bajo	Bajo	Medio
Alto	Bajo	Medio	Medio
Muy alto	Bajo	Medio	Grave

### Identificación del conflicto de uso de la tierra

En esta etapa se necesitó primero definir la capacidad de uso de la tierra en la zona de estudio, para lo que se utilizó como fuente de información, los mapas de capacidad de uso de tierras forestales publicados por la Fundación Neotrópica de Costa Rica. Estos mapas son detallados y específicos para tierras forestales. Lo anterior, significa que todas las tierras de capacidad de uso agrícola o pecuario (clases I, II, III y IV) se incluyeron en una sola categoría, bajo el símbolo A. El resto corresponde a diferentes subdivisiones de uso forestal o agroforestal (clases V, VI, VII y VIII).

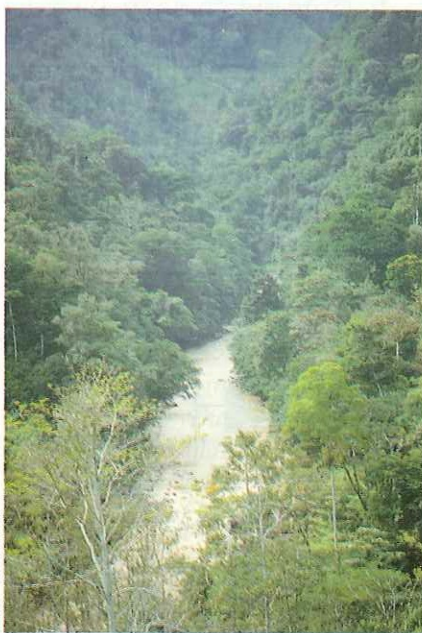


Foto: S. Shultz.

*El SIG es una herramienta clave para el análisis de datos sobre agua, suelo y bosque, a nivel de cuencas hidrográficas. En la foto el Río Pacuare, Costa Rica.*

Para identificar los conflictos de uso se hizo una superposición topológica de la cobertura de capacidad de uso, con la cobertura digital de uso actual, obtenido en la etapa de fotointerpretación. El Cuadro 3 presenta los criterios de selección usados.

### Identificación de áreas críticas de degradación

Esta etapa consiste de una superposición entre la cobertura de estados erosivos con la de conflictos de uso, con el propósito de obtener una cobertura digital de riesgos de degradación. Esta cobertura identificaría las zonas de degradación, según el estado erosivo presente y según el conflicto de uso provocado por las actividades humanas.

Al finalizar esta etapa se obtuvieron zonas con diferentes riesgos de degradación, seleccionando como críticas aquellas que presentaron niveles de riesgo medio y alto. (Cuadro 4).

### Interpretando resultados

La zona de estudio 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.

Cuadro 3. Matriz de conflictos de uso.

Uso actual	Clases de capacidad de uso			
	A	VI	VII	VIII
Bosque primario (BP)	Subuso	Pleno uso	Pleno uso	Pleno uso
Bosque secundario (BS)	Subuso	Subuso	Pleno uso	Pleno uso
Bosque mixto (BM)	Subuso	Subuso	Pleno uso	Pleno uso
Plantación forestal (PF)	Subuso	Pleno uso	Pleno uso	Pleno uso
Pastizales (P)	Pleno uso	Sobre uso	Sobre uso	Sobre uso
Cultivos permanentes (CP)	Pleno uso	Sobre uso	Sobre uso	Sobre uso

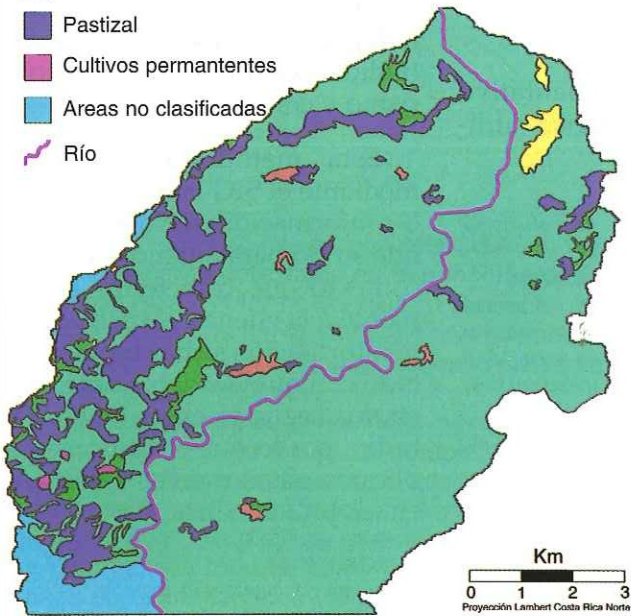
Cuadro 4. Riesgos de degradación en la zona de estudio.

Conflictos de uso	Estados erosivos			
	Grave	Medio	Bajo	Muy bajo
Pleno uso	Bajo	Bajo	Muy bajo	Sin riesgo
Sobreuso	Alto	Alto	Medio	Bajo
Subuso	Medio	Medio	Bajo	Muy bajo



- Bosque primario
- Bosque secundario
- Bosque mixto
- Plantación forestal
- Pastizal
- Cultivos permanentes
- Areas no clasificadas
- Río

Figura 3. Uso actual de la tierra. Área de estudio, Río Pacuare.



- Grave
- Medio
- Bajo
- Muy Bajo
- Areas no clasificadas
- Río

Figura 4. Estados erosivos presentes. Área de estudio, Río Pacuare.



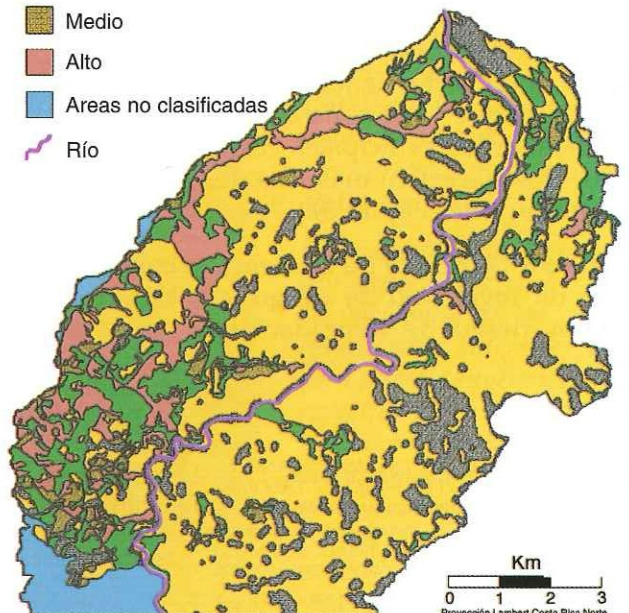
- Pleno uso
- Sobreuso
- Subuso
- Areas no clasificadas
- Río

Figura 5. Conflictos de uso. Área de estudio, Río Pacuare.



- Sin riesgo
- Muy bajo
- Bajo
- Medio
- Alto
- Areas no clasificadas
- Río

Figura 6. Riesgos de degradación. Área de estudio, Río Pacuare.





El estado erosivo "bajo" es el predominante en la cuenca 63 por ciento. A pesar de que mayormente ésta tiene material parental ubicado bajo condiciones de alto riesgo de erosión (por la pendiente); el estado erosivo se minimiza por efecto del grado de protección de la cobertura dominante. (Figura 4).



*El ecoturismo es una excelente opción para el esparcimiento de nacionales y extranjeros, y en consecuencia, una fuente para atraer divisas. (Foto: S. Shultz).*

La cuenca no está fuertemente en conflicto, pues el 80% está en pleno uso y un 20% está en conflicto. Esto ocurre no por un buen manejo del bosque, sino a la poca presión social por tierras y a la ausencia de una economía local próspera. Las 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. (Figura 5).

El 86% (7 690 ha) de la cuenca tiene un nivel bajo de riesgo, o ningún riesgo de degradación;

mientras que un 2,67% (238,42 ha) tiene un nivel de riesgo medio; y un 7,64% (681,94 ha) tiene un nivel de riesgo alto. (Figura 6). Estas últimas áreas son las consideradas como críticas en la Figura 5.

### Conclusiones

A nivel general y cualitativo este diseño metodológico utili-

zando un SIG fue suficiente para identificar la degradación a causa de la pérdida de bosque natural.

Debido a que la cuenca está bastante protegida, el manejo de la misma se debe orientar hacia las áreas críticas y su prevención. La clase VI es la capacidad de uso más abundante en la zona (44% ó 3 930 ha), la cual permite sistemas de producción forestal, agroforestal y de cultivos permanentes; siempre y cuando sean bajo condiciones de conservación de suelos y aguas.

De esta forma se puede pensar en futuros planes de ordenamiento del uso de la tierra; planes de conservación de suelos y aguas; análisis de factibilidad para proyectos de reforestación en la zona; implementación de tecnologías agrosilvopastoriles; factibilidad de proyectos de ecoturismo y conservación.

Esta metodología permitió mediante el SIG la incorporación de información socioeconómica, que sirvió para entender mejor el contexto que caracteriza actualmente a la cuenca. Mucha de esta información se ha complementado con nuevos datos obtenidos en una segunda etapa de este estudio, por lo que los autores publicarán estos nuevos resultados en un próximo artículo.

*Fernando Sáenz,*  
Programa Ambiente y Desarrollo.  
CINPE, Universidad Nacional  
Apdo. 555-3000 Heredia  
Costa Rica.  
E-mail: fsaenz@una.ac.cr

*Steven Shultz*  
Area de Economía  
y Sociología Ambiental  
CATIE, 7170, Turrialba  
Costa Rica.  
E-mail: sshultz@catie.ac.cr

*Glenn Hyman*  
Programa Uso de la Tierra  
CIAT.  
Apdo: AA 6713  
Cali, Colombia.  
E-mail: ghyman@gis.ciat.cgiar.org

**Nota de la Editora:** Esta investigación se realizó cuando los autores formaban parte del Programa Manejo de Cuencas Hidrográficas del CATIE, entre 1994-1995.

### Literatura citada

CARRERA MORALES, J.A.; ROJAS SERRANO, L.; RUIZ SINOGA, J.D.; SÁNCHEZ PALOMARES, P. 1990. Primera aproximación para la elaboración de la metodología común de cartografía de la erosión hídrica en el Mediterráneo. s.l., ICONA; FAO; UNEP. p. 25-32.

CENTRO INTERAMERICANO DE DESARROLLO INTEGRAL DE AGUAS Y TIERRAS. (VEN.); MINISTERIO DEL AMBIENTE Y DE LOS

RECURSOS NATURALES RENOVABLES (VEN.). 1984. Diagnóstico físico conservacionista en cuencas hidrográficas. Mérida, Ven. 63 p.

ESRI 1994. Introducción a PC ARQ/INFO, versión 3.4 D PLUS. Análisis y consulta de la base de datos. Redlands, EE.UU. p. 30-64.

MURILLO, W.; HERRERA, G.; ALFARO, R.M.; MALAVASSI, L. 1985. Evaluación de los recursos biológicos del río Pacuare y áreas adyacentes. San José, C.R., Programa de Patrimonio Natural, Parques Nacionales. s.p.