

Dinámica erosión/sedimentación: diseño y aplicación del Modelo de Erosión/Sedimentación para la Cuenca del Río Nosara (MES)

Fecha de recepción: 16/12/2009

Fecha de aceptación: 25/02/2010

Aurora Hernández Ulate¹

Palabras clave

Modelo MES, erosión, sedimentación, cuenca del río Nosara, SIG.

Key words

Model MES, erosion, sedimentation, Nosara River Basin, GIS.

Resumen

El Modelo de Erosión/Sedimentación para la Cuenca del Río Nosara (MES) se ha diseñado para estimar las áreas que son susceptibles a la erosión o a la sedimentación. Este modelo combina capas con información de la textura del suelo, la profundidad, la geomorfología, la pendiente, la precipitación y el uso de la tierra en un Sistema de Información Geográfico (SIG). Los resultados obtenidos para la cuenca de estudio con la interpolación de las capas en el SIG mostraron cómo en 1979, las áreas afectadas por la sedimentación o sin erosión evidente fueron superiores a las registradas en 1992 e iguales a las del periodo 2004-2006. Esto se puede explicar por la falta de cobertura de la tierra en 1992, lo que elevó las áreas que sufrían procesos de erosión intensos o moderados.

Abstract

The Model of Erosion/Sedimentation Basin of the Rio Nosara (MES) is designed to estimate the areas that are susceptible to erosion or sedimentation. This model combines information layers with soil texture, depth, geomorphology, slope, rainfall and land use in a Geographic Information System (GIS). The results obtained for the studied catchment with the interpolation of the layers in the GIS, as 1979 showed, the areas affected by sedimentation or non erosion evident were higher than those recorded in 1992 and equal to those of 2004-2006. This can be explained by lack of land cover in 1992 that lifted the areas suffering from severe erosion processes or moderate.

1. Estudiante del Doctorado en Ciencias Naturales para el Desarrollo. Instituto Tecnológico de Costa Rica. Correo electrónico: cmunoz@itcr.ac.cr

Introducción

En la cuenca hidrográfica del río Nosara existe una escasez de información que dificulta obtener información relacionada con las áreas expuestas a procesos de erosión y sedimentación. Esta escasez de datos sobre la dinámica de erosión/sedimentación en la cuenca impide dos aspectos fundamentales para tratar de ordenar y manejar territorialmente la cuenca hidrográfica en la actualidad:

- a) Disponer de información por parte de las autoridades locales encargadas del ambiente, del desarrollo agropecuario y del ordenamiento del territorio, que les permita tomar decisiones para orientar los usos de la tierra y reducir la amenaza de esto sobre la población.
- b) Realizar una evaluación objetiva con respecto a las tendencias de riesgo de erosión/sedimentación, con el objetivo de desarrollar una estrategia de uso sostenible de los recursos naturales, especialmente de la tierra, y una educación ambiental en la cuenca del río Nosara.

En estas páginas se aborda el diseño y la aplicación del modelo MES, que permite, mediante la combinación de capas de información, obtener como resultado una estimación de las áreas que son susceptibles a la erosión o sedimentación, tanto en el pasado como en la actualidad y en el futuro. Este modelo intenta responder a los vacíos de información para la toma de decisiones en la cuenca y lo hace por medio de los datos disponibles de textura y profundidad de los suelos, la geomorfología, la pendiente, la precipitación y la cobertura de la tierra, de manera general, para toda el área de la cuenca hidrográfica.

Materiales y métodos

El proceso para determinar cuáles áreas potencialmente pueden erosionarse o ser el lugar donde ocurre la sedimentación se

llevó a cabo mediante la aplicación de un modelo de análisis espacial diseñado para tal propósito, el cual se ha denominado Modelo de Erosión/Sedimentación para la Cuenca del Río Nosara (MES). Este modelo permite determinar los índices correspondientes a las áreas que actualmente presentan erosión, tanto en rocas duras como en rocas blandas, y las áreas donde predominan los procesos de depositación.

Para determinar esto, el modelo se basa en la sobreposición espacial de las clases correspondientes a seis variables (textura del suelo, profundidad, geomorfología, pendiente, precipitación y clasificación de uso de la tierra), a las cuales también se les ha asignado un rango cualitativo para su interpretación (cuadro 1).

Las rocas sobre las que sobreyace el suelo no fueron seleccionadas como una variable específica adicional, sino que se incluyen como parte de la valoración geomorfológica que se ha realizado, puesto que se considera que en la cuenca las geoformas están controladas por la estructura. Otros aspectos de las rocas duras que no forman parte de las variables incorporadas en la modelización son el grado de meteorización, las superficies de debilidad como estratificaciones o diaclasamientos, las zonas de alteración hidrotermal, la porosidad y permeabilidad de la roca, y la composición de los materiales.

Estas variables seleccionadas permiten que el modelo pueda determinar las áreas de erosión y de sedimentación no solo en la cuenca del río Nosara, sino que su uso pueda adaptarse para cualquier cuenca de la zona tropical, de las cuales se suele tener pocos datos disponibles. Su ventaja con respecto a otros modelos está asociada a que simplifica las variables que son necesarias para su aplicación, lo que posibilita su uso incluso en lugares donde es escasa la información disponible, pues estas se pueden obtener con medición y observación de campo, o mediante fuentes secundarias.

Los mapas con las coberturas temáticas necesarias para la aplicación del método se

Cuadro 1. Características y variables para determinar las áreas de erosión laminar o las áreas susceptibles a la sedimentación en la cuenca hidrográfica del río Nosara.

| Tipo de variable dentro del modelo MES | Característica explicativa | Tipo de variable seleccionada | Predicción a partir de la combinación de las variables |
|--|-------------------------------------|-------------------------------|---|
| Dependiente | Características físicas del terreno | Textura del suelo | Áreas que potencialmente pueden ser afectadas por la erosión o la sedimentación |
| | | Profundidad (cm) | |
| | Morfología del terreno | Geomorfología | |
| | | Pendiente en grados | |
| Clima en la cuenca | Precipitación | | |
| Independiente | Características de uso de la tierra | Clasificación por tipo de uso | Áreas afectadas por la erosión o la sedimentación |

elaboraron y sobrepusieron en el sistema de información geográfica (SIG) Arc View, y se definieron categorías para cada una de las variables, de manera que, al ser combinadas, produzcan una sumatoria, lo cual finalmente indicará cuáles áreas son susceptibles a la erosión o a la sedimentación. Este proceso supone una integración de las distintas capas que han sido obtenidas en las fases metodológicas anteriores. Las variables, las categorías en que se desagregan y los índices asociados a éstas se explican a continuación:

Textura. La permeabilidad del suelo depende del tamaño del poro y este, a su vez, depende de la textura del suelo; así, cuanto más permeable es el suelo, más gruesa es su textura (Stadtmüller, 1994). Adicionalmente, se puede afirmar que el material inconsolidado, que es parte de las formaciones superficiales, también depende del transporte y la selección de las partículas. La textura se relaciona directamente con la posibilidad del suelo que será erosionado por la escorrentía y con su capacidad para absorber la precipitación. Fue seleccionado como variable, pues, después de realizar las observaciones de campo en la cuenca hidrográfica del río Nosara, se determinó que el principal proceso erosivo era el laminar (cuadro 2).

Profundidad del suelo. La profundidad del suelo es importante, pues a suelos más profundos se les asocia, generalmente, una alta capacidad de infiltración antes de que esta escurra en la superficie (cuadro 3), siempre y cuando el suelo sea permeable, lo cual está estrechamente relacionado con la textura. El escurrimiento superficial del agua se considera un agente erosivo porque puede producir el arranque y arrastre de partículas.

Precipitación. La cantidad de lluvia es una de las variables fundamentales en este modelo, dado que, como se mencionó anteriormente, el agua es el agente erosivo más activo en los procesos de denudación que se evidencian en la cuenca hidrográfica del río Nosara. La precipitación como un índice se determina mediante el cálculo del índice de Fournier modificado, en el cual la precipitación total del mes i corresponde al mes con más precipitación durante el año:

$$FI = \sum_{i=1}^{12} \frac{P_i^2}{P} \quad \text{Donde } \frac{P_i^2}{P}$$

P_i^2 = Es la precipitación total del mes i

P = Es la precipitación media anual
(suma de todas las medias mensuales)

Fuente: Comisión Europea de Medio Ambiente. S.f

Cuadro 2. Clasificación de la textura

| Clase SIG ² | Valor cualitativo de la clase | Textura asociada a la clase |
|------------------------|--|---|
| 0 | Poco erosionable | Arcilloso, arcillo arenoso y arcillo limoso |
| 1 | De ligeramente a moderadamente erosionable | Arenoso, areno limoso |
| 2 | Altamente erosionable | Limoso y limo arenoso |

Cuadro 3. Clasificación de la profundidad

| Clase SIG | Valor cualitativo de la clase | Rangos de profundidad |
|-----------|--|-----------------------|
| 0 | Poco erosionable | Mayor de 90 cm |
| 1 | De ligeramente a moderadamente erosionable | Entre 30 y 90 cm |
| 2 | Altamente erosionable | Menor de 30 cm |

La información resultante del cálculo del índice de Fournier se clasifica en el cuadro 4.

Geomorfología. Se incorporan las geformas subdivididas en tres clases (cuadro 5):

Pendiente. La pendiente es una variable sumamente importante, pues en superficies planas, la energía cinética del agua al salpicar produce el desplazamiento de las partículas en forma regular hacia todas direcciones, mientras que en

superficies inclinadas el desplazamiento es mayor pendiente abajo que hacia arriba (Stadtmüller, 1994), lo cual favorece el transporte hidráulico (figura 1). La pendiente determina la orientación de las partículas desprendidas por el agua y la capacidad de arrastre dada por la velocidad a la que puede viajar la escorrentía en superficies muy inclinadas o, en caso contrario, la pendiente refleja aquellas áreas que son propensas a acumular sedimentos. La inclinación se ha calculado en grados, los cuales se relacionan con una

Cuadro 4. Clases asociadas a los valores de FI

| Clase | Valor cualitativo de la clase | Valores de FI |
|-------|-------------------------------|-----------------|
| 0 | Muy baja | >60 |
| 1 | Baja | Entre 60 y 90 |
| 2 | Moderada | Entre 90 y 120 |
| 3 | Alta | Entre 120 y 160 |
| 4 | Muy alta | <160 |

Fuente: Adaptado de Comisión Europea de Medio Ambiente. S.f.

- Clase SIG: valor que asume la variable dentro del procedimiento mediante sobreposición (*overlay*) en el Sistema de Información Geográfica (SIG).

Cuadro 5. Clases asociadas a las geoformas

| Clase SIG | Valor cualitativo de la clase | Formas |
|-----------|--|--|
| 0 | Predominio de la depositación | Llanuras, terrazas, meseta, depresión graben |
| 1 | Erosión moderada por la poca longitud e inclinación de sus pendientes, que dan lugar a acumulaciones de pie de monte | Colinas, coluvios, depósitos de talus, pie de montes |
| 2 | Pendiente muy inclinada y de extensa longitud que favorece el predominio de la erosión hídrica laminar intensa | Montañas |



Figura 1. Salpique y arranque de partículas.

clase cuantitativa y una cualitativa, como se aprecia en el cuadro 6.

Uso de la tierra. Esta variable se refiere al tipo de protección que brinda el uso de la tierra como cobertura de los suelos. Para representar esto, la variable se ha desglosado en:

- a) Cobertura de protección: agrupa las áreas de bosque, pues este permite que la energía cinética de las gotas de agua precipitada sea amortiguada por los distintos estratos, lo cual favorece que la erosión laminar se mantenga controlada o en equilibrio, lo que

constituye una cobertura efectiva contra la erosión (Stadtmüller, 1994).

- b) Cobertura en uso adecuado: uso acorde a la capacidad de uso.
- c) Cobertura de uso inadecuado o en conflicto: se refiere a la cobertura vegetal o al tipo o condición de uso de la tierra que rebasa la capacidad que fue determinada para su uso en un sitio dado (cuadro 7).

Finalmente, los datos obtenidos en cada una de las coberturas temáticas que representan una variable se combinan y se suman en el SIG para obtener los valores de combinación finales (cuadro 8).

Aplicación del MES

Para la aplicación del MES es necesario preparar las capas de datos espaciales en Map Info, de manera que se reclasifica el contenido de los datos según los valores cuantitativos definidos en la metodología. Es necesario mencionar que los valores están en función de dos elementos: la variable que describen y su relación con la dinámica erosión/sedimentación en la cuenca hidrográfica del río Nosara.

Textura. La información de base para la capa de textura se obtuvo mediante el trabajo de campo realizado. El 76% de la cuenca corresponde a texturas arenosas y areno-limosas, las cuales se clasifican como

Cuadro 6. Clases asociadas a rangos de pendientes

| Clase SIG | Valor cualitativo de la clase | Descripción | Pendiente % |
|-----------|--|------------------|-------------|
| 0 | Sedimentación predominante | Plano a ondulado | Menor a 5° |
| 1 | Baja erosión laminar, se observan áreas de sedimentación | Ondulado | De 5 a 10° |
| 2 | Erosión hídrica laminar (EHL) moderada | Quebrado | De 10 a 30° |
| 3 | EHL activa y evidente en las laderas | Muy quebrado | Mayor a 30° |

Cuadro 7. Clases asociadas a la cobertura de la tierra

| Clase SIG | Valor cualitativo de la clase | Descripción |
|-----------|--|---|
| 0 | Cobertura de protección | Áreas con una categoría de protección y/o con bosques |
| 1 | Cobertura de uso adecuado de la tierra | Acorde con la capacidad de uso de la tierra |
| 2 | Cobertura de uso inadecuado para la tierra | En conflicto o sobreuso con respecto a la capacidad de uso de la tierra |

Cuadro 8. Clasificación MES dentro del procesamiento en el SIG

| Textura del suelo | Profundidad del suelo | Índice de Fournier | Pendiente | Uso de la tierra | Geomorfología | Rangos finales | | |
|--------------------------------|--------------------------------|--------------------------------|--------------------------------|--------------------------------|--------------------------------|--------------------------------|--|--|
| Clase cuantitativa para el SIG | Clase cualitativa | Clase simbología para la representación cartográfica |
| 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 a 3 | Áreas de sedimentación o sin erosión evidente | 1 |
| 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 3 a 5 | Áreas de baja erosión hídrica laminar y baja sedimentación | 2 |
| 2 | 2 | 2 | 2 | 2 | 2 | 5 a 7 | Áreas de erosión hídrica laminar moderada | 3 |
| | | 3 | 3 | | | 7 a 10 | Áreas de alta erosión hídrica laminar | 4 |
| | | 4 | | | | 11 a 15 | Áreas de intensa erosión hídrica laminar | 5 |

texturas de ligeramente a moderadamente erosionables. Esta condición se manifiesta en la zona de estudio como erosión laminar y puede observarse la formación de pedestales. Solamente un 20% se clasifica como altamente erosionable y corresponde a las texturas limosas o limo-arenosas (figura 2).

En el cuadro 9 aparecen los datos correspondientes al área que cubre cada una de estas categorías en la cuenca del río

Nosara. La categoría que más extensión cubre (más del 80%) corresponde a las áreas ocupadas por las unidades geomorfológicas (UG) de montañas y de colinas, mientras que la altamente erosionable se extiende por las depresiones tectónicas, las colinas residuales y la meseta.

Profundidad del suelo. En la cuenca del río Nosara hay secciones que poseen suelos pobremente desarrollados o ausentes, como sucede en la parte baja de la cuenca

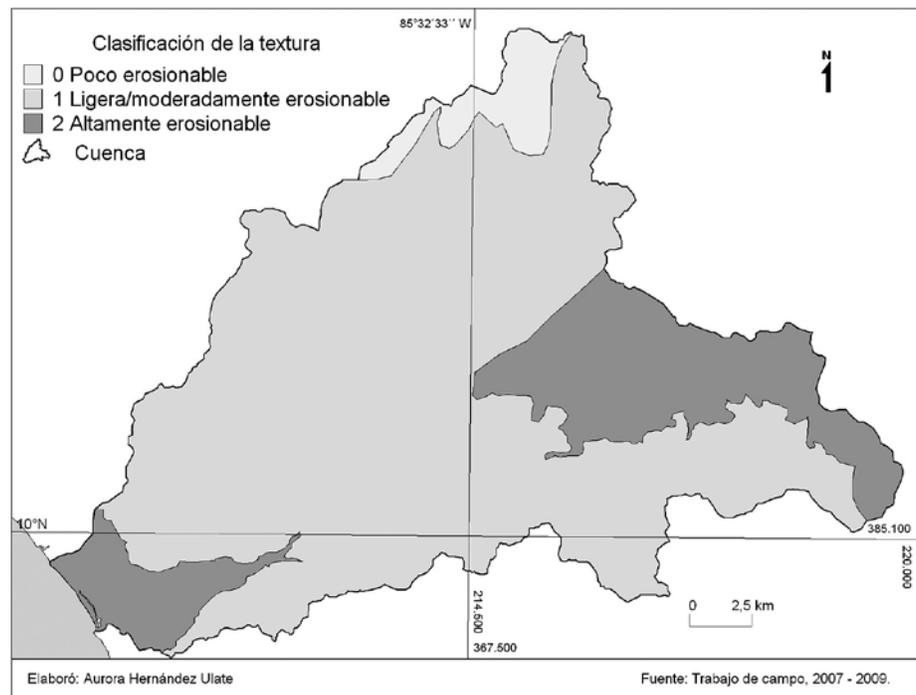


Figura 2. Clasificación de la textura de los suelos en la cuenca del río Nosara.

Cuadro 9. Clasificación de la textura de los suelos

| Descripción de la clase | Valor de la clase | Área | % |
|--|-------------------|-------|-----|
| Poco erosionable | 1 | 317,1 | 76 |
| De ligeramente a moderadamente erosionable | 2 | 85,18 | 20 |
| Altamente erosionable | 0 | 16,5 | 4 |
| Total | | 418,8 | 100 |

(cuadro 10). Otros sectores poseen suelos que alcanzan un metro o más de desarrollo, como en las laderas de la Fila Maravilla, en parte de las laderas de la Fila Esperanza y en las colinas de la cuenca media.

Los sectores menos susceptibles a erosionarse debido a la profundidad de sus suelos ocupan el 87% del área de la cuenca (figura 3). En estos sectores están incorporadas las UG correspondientes a las montañas, las colinas y la meseta estructural de Hojancha, mientras que el sector altamente erosionable, que

cubre el 5% de la cuenca, abarca la depresión tectónica Nosara, la terraza y las colinas residuales. La Fila Esperanza y la depresión tectónica Caimital aparecen bajo la categoría de poco erosionable.

Precipitación. La capa de precipitación muestra las áreas resultantes de la interpolación en Arc View de los datos de los índices de Fournier correspondientes a las tres estaciones hidrometeorológicas cercanas a la cuenca: Estación Nosara, Estación Garza y Estación Nicoya. En el cuadro 11 se presenta el índice de Fournier

Cuadro 10. Clasificación de la profundidad

| Descripción de la clase ³ | Valor de la clase | Área | % |
|--|-------------------|-------|------|
| Poco erosionable | 0 | 366,4 | 87,5 |
| De ligeramente a moderadamente erosionable | 1 | 29,8 | 7,1 |
| Altamente erosionable | 2 | 22,6 | 5,4 |
| Total | | 418,8 | 100 |

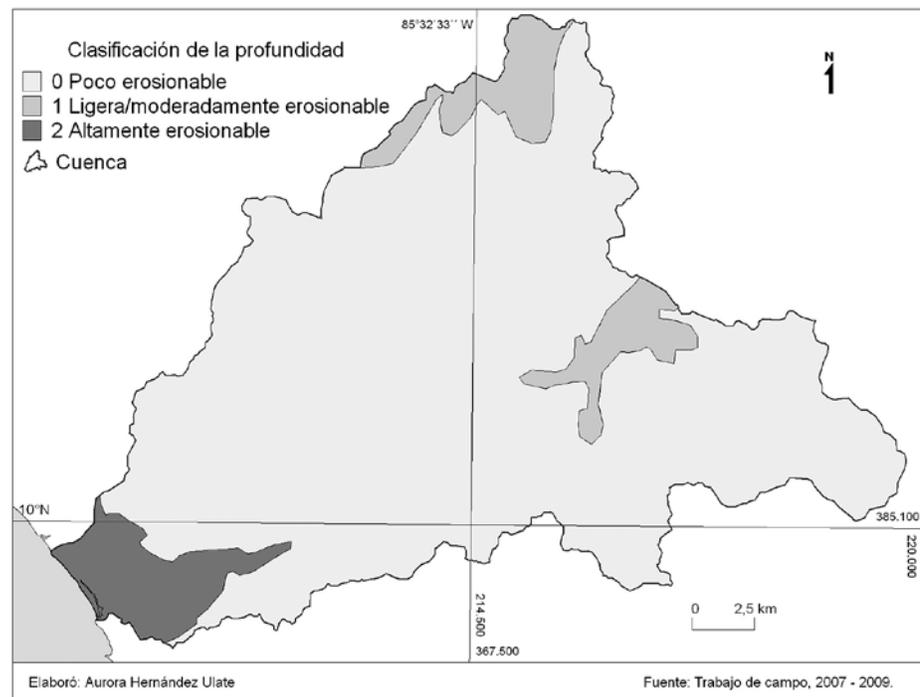


Figura 3. Clasificación de la profundidad de los suelos en la cuenca del río Nosara.

3. Para ampliar sobre los espesores considerados, ver el método detallado.

calculado para cada una de estas estaciones, el cual fue utilizado posteriormente para la interpolación y obtención de las áreas a las cuales se les asignó un valor de clase.

Los datos obtenidos por medio del índice de Fournier para cada estación fueron interpolados para definir los valores de precipitación necesarios para la cuenca del río Nosara. Esto se realizó porque solo una de las estaciones (Nosara) se encuentra dentro de la cuenca. El resultado de esta interpolación permitió obtener los siguientes datos para el área de estudio.

Si se compara este último mapa con los dos mapas anteriores, se puede observar que en los anteriores la erosionabilidad es más alta en las secciones alta y baja de la cuenca mientras que en el mapa de la clasificación de la erosión, la sección central de la cuenca aparece como el área más propensa a afectarse por la erosión. En ésta se conjugan como factores potenciadores de la erosión, la cual se evidencia en

la formación de cárcavas y surcos, el uso de la tierra en pasturas, los eventos de precipitación que concentran grandes cantidades de agua al pie de las colinas, las características del límite de contracción (Lc) y la fuerza con que desciende el agua en pendientes de 30°. Todo esto propicia un escenario donde la acción del agua es el principal agente erosivo, por lo tanto resulta determinante utilizar el índice de Fournier para interpretar el potencial de erosión del mapa anterior.

Geomorfología. La capa de geomorfología clasifica las formas en tres categorías o clases, las cuales se elaboraron considerando las formas predominantes del relieve y los procesos erosivos observados en ellas. El 16% de la cuenca posee formas en las que predomina la sedimentación, mientras que el 54% es susceptible a sufrir una erosión moderada y el 30% restante puede sufrir erosión laminar intensa (cuadro 13).

Si se compara este último mapa con los dos mapas anteriores, se puede observar que en los anteriores la erosionabilidad es más alta en las secciones alta y baja de la cuenca mientras que en el mapa de la clasificación de la erosión, la sección central de la cuenca aparece como el área más propensa a afectarse por la erosión.

Cuadro 11. Cálculo del índice de Fournier

| Estación y período de los datos | Mes con mayor precipitación promedio mensual | Precipitación promedio anual | Cálculo del cuadrado del Mes i | Índice de Fournier |
|---------------------------------|--|------------------------------|--------------------------------|--------------------|
| Nicoya 1939 - 2004 | 391,1 | 2146,3 | 152959,21 | 71,2664632 |
| FERCO Garza 1997 - 2004 | 625,9 | 2807,8 | 391750,81 | 139,522334 |
| Nosara 1976 - 2005 | 524,8 | 2672,7 | 275415,04 | 103,047495 |

Cuadro 12. Clasificación de áreas según el índice interpolado de Fournier

| Descripción de la clase | Clasificación resultante de la interpolación | Valor de la clase | Área | % |
|-------------------------|--|-------------------|--------|------|
| Baja | 71,08 - 90 | 1 | 299,86 | 71,6 |
| Moderada | 90 - 120 | 2 | 118,9 | 28,4 |
| Total | | | 418,8 | 100 |

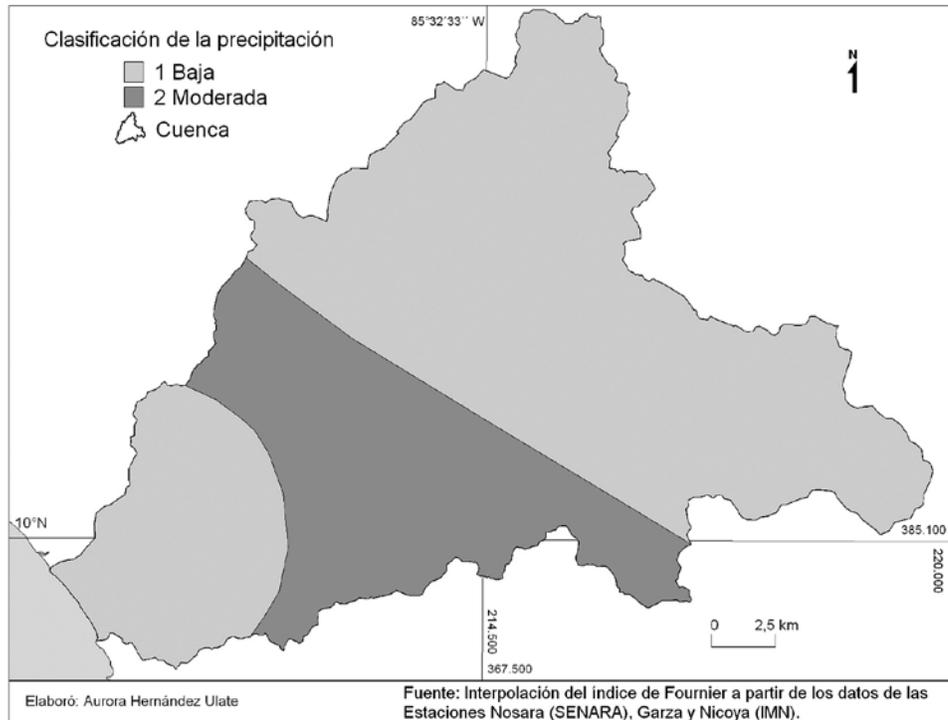


Figura 4. Clasificación de la precipitación en la cuenca del río Nosara.

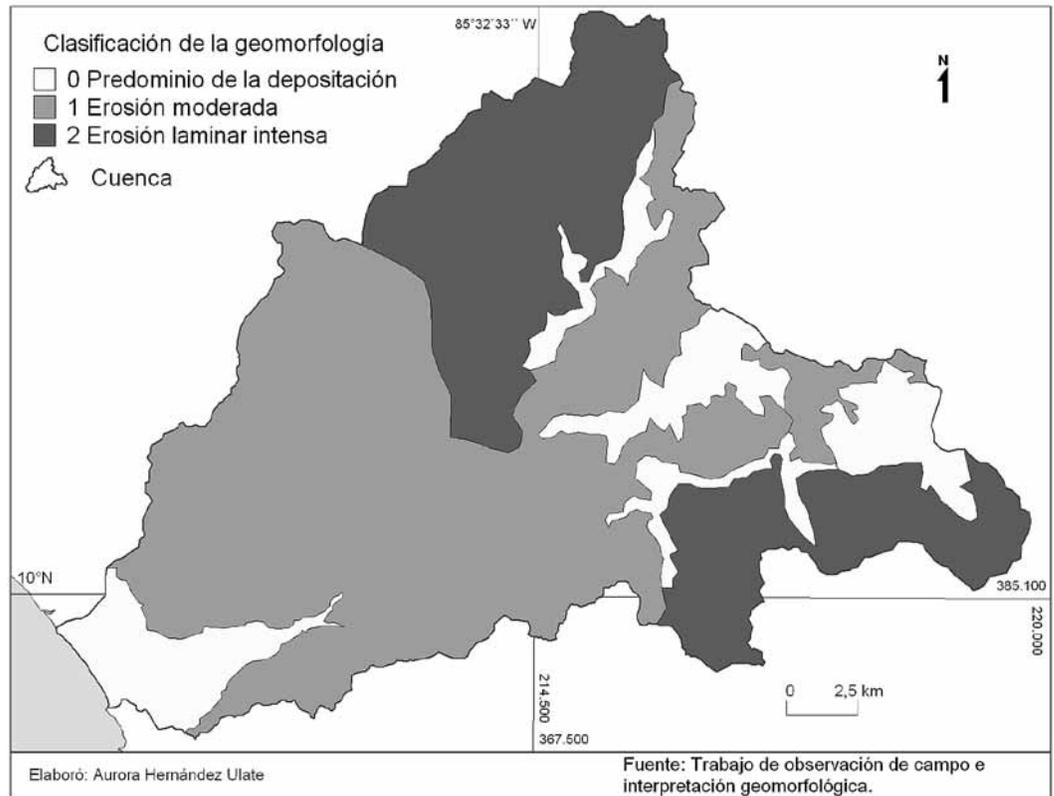
Cuadro 13. Clasificación de la geomorfología

| Descripción de la clase | Clase | Área | % |
|---|-------|-------|------|
| Formas que favorecen el predominio de la depositación | 0 | 66,6 | 15,9 |
| Formas que favorecen una erosión moderada por la poca longitud e inclinación de sus pendientes y que dan lugar a acumulaciones de pie de monte | 1 | 226,8 | 54,2 |
| Formas con una pendiente muy inclinada y de extensa longitud que favorecen el predominio de la erosión hídrica laminar intensa como principal agente modelador de sus laderas | 2 | 125,4 | 29,9 |
| Total | | 418,8 | 100 |

Las áreas que favorecen un predominio de la depositación son las áreas planas o plano onduladas en las que se encuentran las depresiones tectónicas Caimital, Quirimán y Nosara, así como la meseta estructural de Hojancha. Las áreas clasificadas como potencialmente susceptibles a sufrir una erosión laminar intensa son principalmente las montañas (S4), mientras que en el

sector de colinas, solo si se toma en cuenta el factor de forma, la erosión es moderada (figura 5).

Pendiente. La pendiente se calculó a partir de las curvas de nivel a escala 1:10.000 extraídas por el Laboratorio de Sistemas de Información Geográfica de la Escuela de Ciencias Geográficas de la Universidad Nacional. La pendiente es una



Clasificación de la geomorfología en la cuenca del río Nosara.

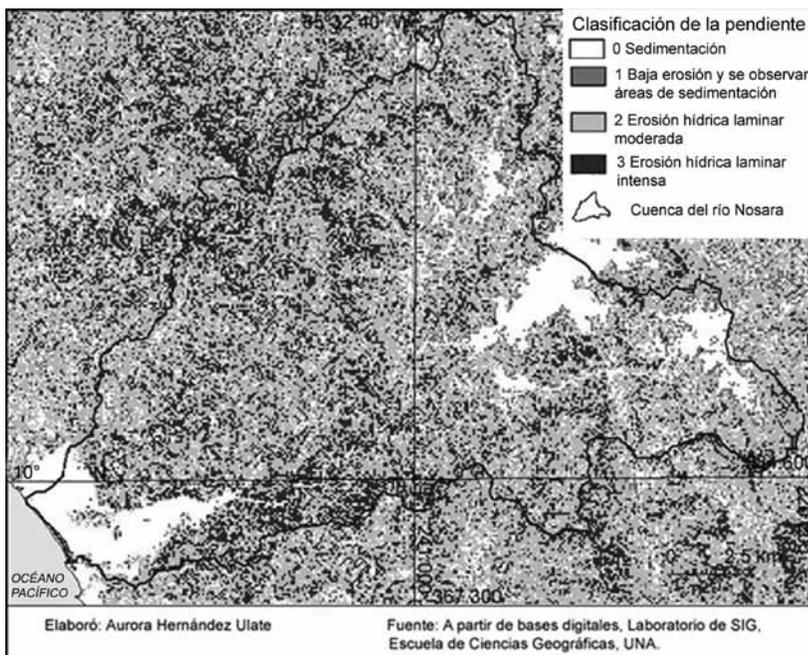


Figura 6. Clasificación de la pendiente en la cuenca del río Nosara.

variable sumamente importante para el desprendimiento y transporte de partículas por el agua. Para efectos de la aplicación del MES, se ha clasificado en cuatro clases de acuerdo con su asociación con los procesos erosivos (figura 6).

Sin embargo, con respecto a la pendiente, cabe destacar que solo se pueden observar claramente las zonas de sedimentación asociadas a las depresiones tectónicas y a la meseta. En las otras áreas, la poca claridad con que se pueden señalar tendencias de pendientes para clasificaciones de UG se debe posiblemente a los distintos episodios de levantamiento del relieve en la cuenca, lo cual ha producido tanto el rejuvenecimiento de las formas como la antigüedad de muchas de estas, que aparecen sumamente desgastadas.

Cobertura vegetal. Esta variable está relacionada con el tipo de protección que brinda la cobertura vegetal a los suelos y se clasifica en: cobertura de protección, de uso adecuado y de uso inadecuado. Esta última se refiere a las áreas que son sobreutilizadas de acuerdo con su capacidad de uso. La cobertura vegetal, como variable independiente, permite distinguir cambios en la dinámica erosión/sedimentación de acuerdo con la variación de la cobertura para un año determinado. En el caso de esta aplicación metodológica, se considerarán tres periodos de estudio determinados por los datos disponibles: 1979 y 1992 con datos del Instituto Meteorológico Nacional (IMN et ál, 1995) y la interpretación de la imagen de Google Earth 2004-2006.

Para el período de 1979, un 79% del área tenía una condición apropiada de uso, mientras que en 1992 solo un 47% de la tierra poseía esta condición, período donde se muestran descubiertas partes de las zonas más afectadas por las precipitaciones en el sector central de la cuenca, así como las zonas clasificadas como altamente erosionables por su textura, que abarcan las depresiones tectónicas de Caimital, Quirimán y Nosara (cuadro 14).

El resultado de la interpretación de la cobertura para el 2004-2006 mostró que el 60% del área de la cuenca del río Nosara

se clasifica bajo la categoría 1, es decir, que son áreas que se encuentran con un uso adecuado de la tierra, mientras que un 34% se encuentra sobreutilizado. Solo un 6% del área total está bajo protección o con bosque (figura 7). Es posible señalar de nuevo que el área central de la cuenca y las áreas de las depresiones tectónicas, que son susceptibles a los procesos erosivos, en este mapa presentan mayor área bajo cobertura de protección.

Discusión de los resultados de la aplicación del MES

La aplicación del MES en Arc View permitió combinar las capas de información de textura, profundidad, precipitación, geomorfología y pendiente para obtener como resultado mapas que señalan las áreas susceptibles a mostrar cinco estadios distintos que se describen como rangos que presentan los procesos de erosión o sedimentación para la cuenca (cuadro 15).

Los resultados de la interpolación de las capas de información permitieron generar tres mapas (figuras 8, 9, 10) que representan la dinámica de la erosión y la sedimentación en tres momentos: en 1979, en 1992 y en el 2004–2006. Como se puede apreciar en estos mapas, el comportamiento de la erosión y la

Cuadro 14. Clasificación de la cobertura de la tierra en la cuenca del río Nosara.

| Descripción de la clase | Clase | 1979 | | 1992 | | 2004-2006 | |
|--|-------|-------|------|-------|-------|-----------|------|
| | | Área | % | Área | % | Área | % |
| Cobertura de protección | 0 | 0 | 0,0 | 69,42 | 16,6 | 26,9 | 6,4 |
| Cobertura de uso adecuado de la tierra | 1 | 331,7 | 79,2 | 127,3 | 30,4 | 248,9 | 59,4 |
| Cobertura de uso inadecuada para la tierra | 2 | 87,1 | 20,8 | 222,1 | 53,0 | 143 | 34,1 |
| Total | | 418,8 | 100 | 418,8 | 100,0 | 418,8 | 100 |

Cuadro 15. Rangos resultantes de la aplicación MES

| Clase SIG | Simbología | Clase cualitativa |
|-----------|------------|---|
| 0 a 3 | 1 | Áreas de sedimentación o sin erosión evidente |
| 3 a 5 | 2 | Áreas de baja erosión hídrica laminar y baja formación de depósitos |
| 5 a 7 | 3 | Áreas de erosión hídrica laminar moderada |
| 7 a 10 | 4 | Áreas de alta erosión hídrica laminar |
| 11 a 15 | 5 | Áreas de intensa erosión hídrica laminar |

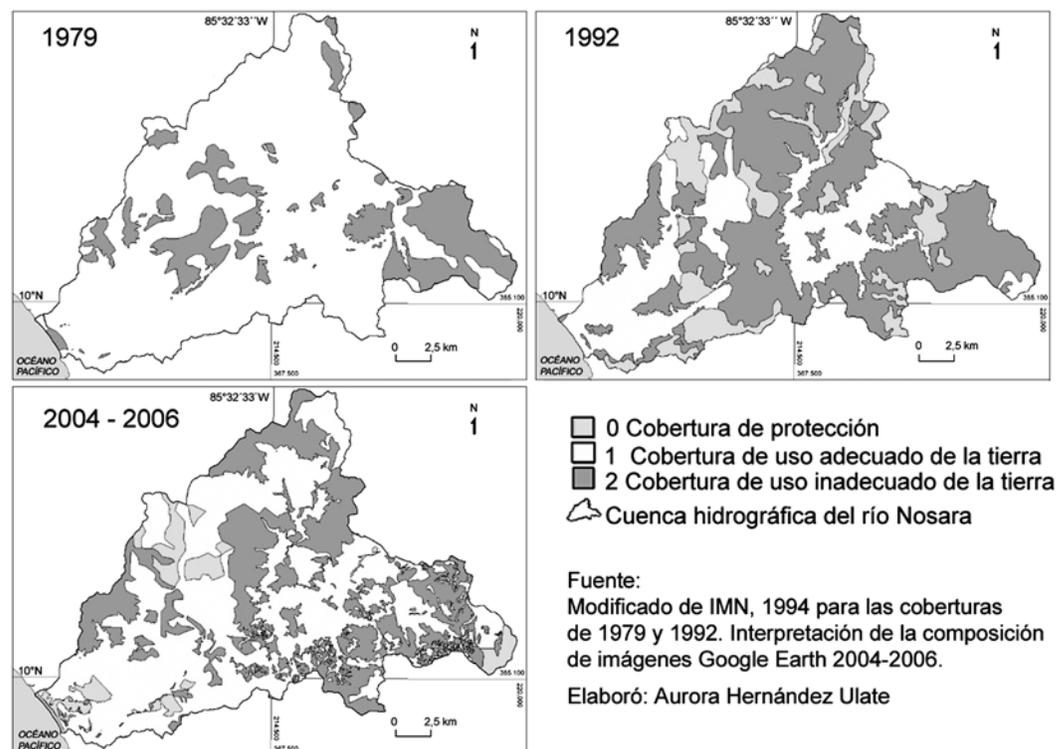


Figura 7. Clasificación de la cobertura vegetal de la cuenca del río Nosara, según clases de uso de la tierra, para 1979, 1992 y 2004-2006.

sedimentación cambia conforme se modifica la variable independiente del modelo (la cobertura de la tierra).

Los resultados en forma de porcentajes de la extensión de cada una de las clases analizadas para estos tres momentos de estudio se presentan en el cuadro 16. Como se puede observar, en 1979 y 2004-2006 se da la inexistencia de

la categoría correspondiente a las *Áreas de baja erosión hídrica laminar*, y para todos los años presenta los porcentajes más bajos. Asimismo, las categorías con los porcentajes más altos corresponden a las *Áreas de sedimentación o sin erosión evidente* y a las *Áreas de erosión hídrica laminar moderada*. Esto concuerda con las observaciones realizadas en campo

y explicadas en el apartado de las formaciones superficiales.

En 1979, las categorías de alta e intensa erosión ocuparon el 43% de la cuenca, lo cual indica que los bosques primario y secundario actuaron como coberturas de protección, mientras que la categoría de erosión moderada ocupó más de la mitad (56%). Adicionalmente, se puede mencionar que porcentajes más bajos

corresponden a las áreas que presentan, para los tres momentos de estudio, áreas de sedimentación o sin erosión evidente y áreas de baja erosión y formación de depósitos, con excepción, en el último caso, de 1992.

El periodo 1992, que mostró una disminución significativa de la cobertura boscosa, coincide con una elevación de las áreas que sufren erosión de moderada

Cuadro 16. Extensión de cada clase analizada en la cuenca del río Nosara, en porcentajes

| Clase cualitativa | Simbología | 2004-2006 | 1992 | 1979 |
|---|------------|-----------------------------------|------|------|
| | | Porcentajes del área de la cuenca | | |
| Áreas de sedimentación o sin erosión evidente | 1 | 1,1 | 0,5 | 1,2 |
| Áreas de baja erosión hídrica laminar y baja formación de depósitos | 2 | 0,0 | 13,8 | 0,0 |
| Áreas de erosión hídrica laminar moderada | 3 | 50,3 | 35,2 | 55,6 |
| Áreas de alta erosión hídrica laminar | 4 | 17,0 | 9,0 | 15,7 |
| Áreas de intensa erosión hídrica laminar | 5 | 31,6 | 41,6 | 27,5 |

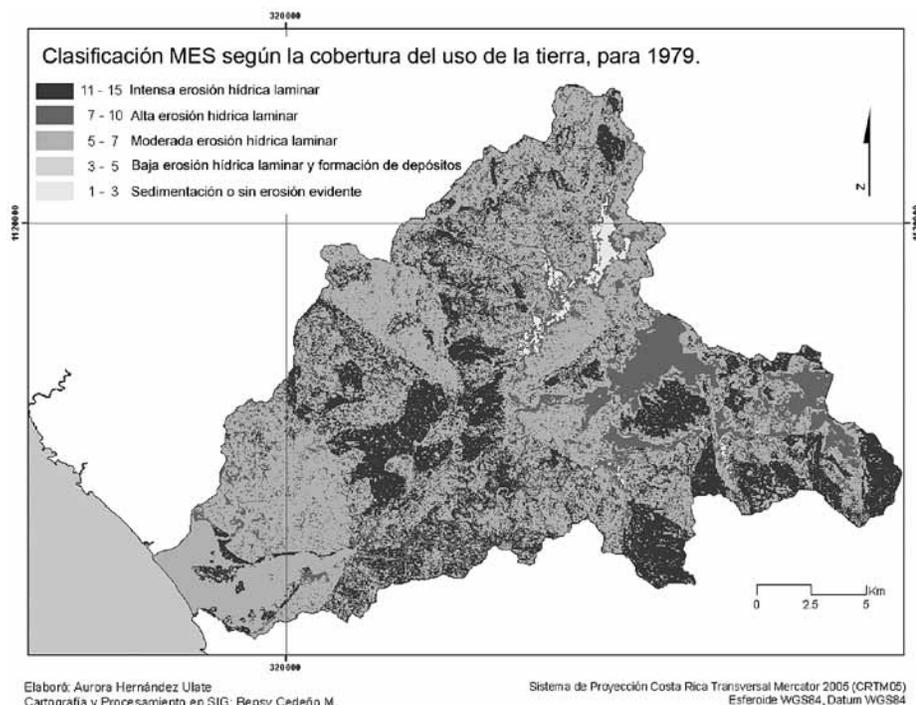


Figura 8. Resultado de la aplicación del MES para 1979.

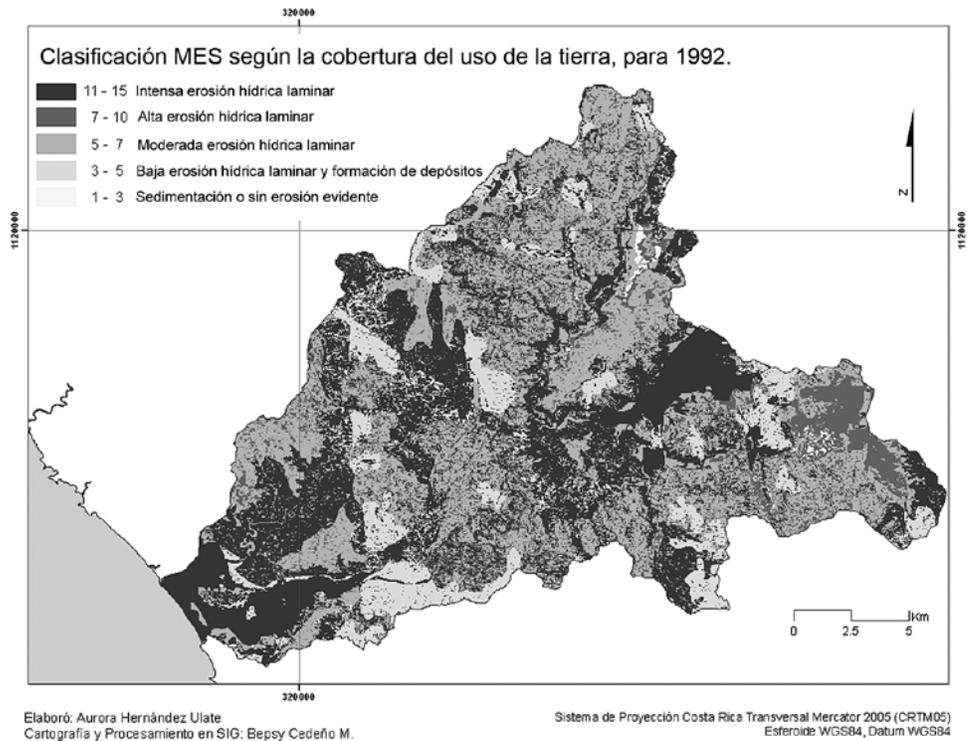


Figura 9. Resultado de la aplicación del MES para 1992.

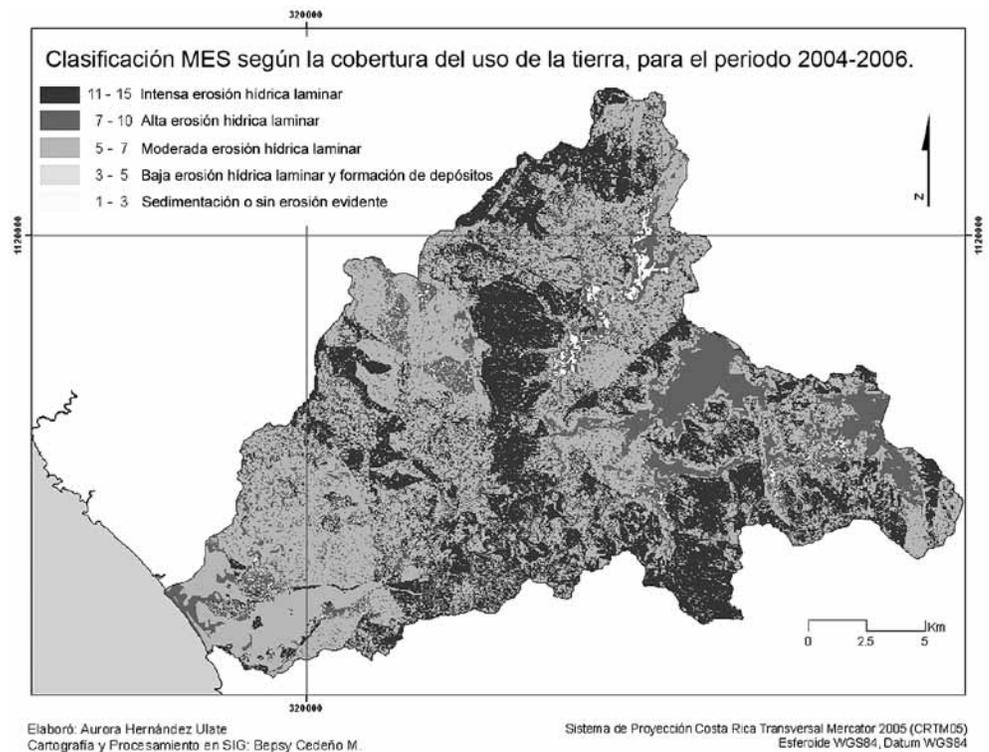


Figura 10. Resultado de la aplicación del MES para 2004-2006.

a alta, que llega casi a representar el 85% del área de la cuenca. En este año se registraron los valores más altos de erosión hídrica laminar intensa para la cuenca, lo que afecta a más de una tercera parte de la cuenca.

En el 2004 se registró en la interpretación de la cobertura de la tierra un retroceso de las áreas dedicadas al pastoreo, las cuales presentan un aumento de las zonas dejadas en descanso, es decir, ya ocupadas por tacotales, y se evidencia una disminución significativa de las áreas afectadas por la erosión hídrica laminar intensa, las cuales ya registraban una condición moderada. La recuperación de la cobertura de protección del suelo permite que los valores para el 2004 sean semejantes a los valores de partida de la comparación correspondientes a 1979.

Los resultados de la aplicación del MES permiten establecer una relación entre los cambios de uso de la tierra, principalmente los relacionados con la cobertura boscosa, con el aumento o disminución de la erosión. En este sentido, la cuenca presenta una relación directa entre la eliminación de la cobertura del bosque con el aumento de la erosión hídrica laminar moderada y alta.

El período con menor cobertura boscosa o de protección (1992) experimentó un aumento significativo de las áreas con mayor erosión, lo que afectó principalmente a las áreas de las depresiones tectónicas y las colinas de la cuenca media. En 1979, las áreas más afectadas por la erosión fueron la Fila Maravilla, las laderas al NE del Cerro Negro y las colinas de la cuenca media.

En los mapas 8, 9 y 10 se puede apreciar que las áreas de la cuenca media y baja cambian debido al despale en las partes altas, de una condición de erosión laminar alta a una moderada o baja. Esto permite inferir, como una consecuencia lógica, que la sedimentación que ocurre está colmatando los cauces y podría derivar en un aumento de la amenaza de inundación;

asimismo, a mayor transporte de materiales por el río Nosara, mayor será su capacidad para acrecentar las barras de punto y provocar las avulsiones del cauce, es decir, el desplazamiento de los meandros.

Conclusiones

Para comprender la relación de la erosión/sedimentación en la cuenca hidrográfica del Nosara se desarrolló y aplicó en un sistema de información geográfica un método que se denominó Modelo de Erosión/Sedimentación para la Cuenca del Río Nosara (MES), diseñado con el propósito de identificar las variaciones de estos dos aspectos según se produjeran cambios en el uso de la tierra.

Este permitió determinar los índices correspondientes a las áreas que presentan erosión actualmente, así como a las áreas donde predominan los procesos de sedimentación, mediante la sobreposición espacial de las clases correspondientes a seis variables expresadas como cartografía temática (textura del suelo, profundidad en centímetros del suelo, geomorfología, pendiente en grados, precipitación: media mensual y media anual, y clasificación por tipo de uso), a las cuales también se les ha asignado un rango cualitativo para su interpretación. Una ventaja de su aplicación es que simplifica las variables necesarias para su aplicación, lo cual posibilita su uso incluso en lugares donde es escasa la información disponible, pues estas se pueden obtener con medición y observación de campo, o mediante fuentes secundarias.

Los mapas con las áreas de erosión y sedimentación generadas con el método MES para la cuenca hidrográfica del río Nosara permiten observar las variaciones de estas áreas en los tres momentos de estudio. Para 1992, que fue de los tres momentos de estudio en el que se registró una menor cobertura de bosque en la cuenca hidrográfica del río Nosara, se puede observar un aumento considerable de

Una ventaja de su aplicación es que simplifica las variables necesarias para su aplicación, lo cual posibilita su uso incluso en lugares donde es escasa la información disponible, pues estas se pueden obtener con medición y observación de campo, o mediante fuentes secundarias.

los procesos de sedimentación, los cuales, a su vez, se pueden relacionar con las avulsiones de los ríos Nosara y Montaña. Cabe mencionar que también son una condición derivada del comportamiento de la precipitación durante el año, si es un período afectado por la Niña o el Niño.

Los resultados obtenidos con la interpolación de las capas en el SIG (figura 11) mostraron que en 1979 las áreas afectadas por la sedimentación o sin erosión evidente fueron superiores a las registradas en 1992 e iguales a las del periodo 2004-2006. Esto se puede explicar por la falta de cobertura de la tierra en 1992, que elevó las áreas que sufrían procesos de erosión intensos o moderados. También en 1979 se registró que más de la mitad de la cuenca (55%) estaba siendo afectada por la erosión laminar moderada, en áreas donde la geomorfología y las pendientes se conjugaron para producir esta condición, más que el uso de la tierra.

En el caso de los resultados para 1992, el aumento de erosión laminar moderada y alta se asocia al tipo de cobertura presente; en otras palabras, los resultados de la aplicación del MES reflejan las

consecuencias de la deforestación sobre la dinámica erosión/sedimentación en la cuenca, mostrando ambas un crecimiento. La recuperación de la cobertura boscosa en los últimos años se manifiesta como una disminución de las áreas que sufren sedimentación y la desaparición de las áreas con una afectación alta de la erosión laminar.

El área más afectada por los cambios en el proceso de sedimentación en la cuenca es el lecho del río Quirimán, que recibe los principales aportes de materiales de las laderas de los cerros Esperanza y que la mayor parte de su carga se deposita en las zonas de inundación de la cuenca media, principalmente. Esto último se confirmó en la observación, pues durante el trabajo de campo se pudo constatar una renovación de la carga de los ríos Nosara y Quirimán en la zona de contacto de la cuenca media con la baja.

Agradecimientos

La autora desea expresar su agradecimiento a Betsy Cedeño, geógrafa del Laboratorio de Sistemas de Información Geográfica de

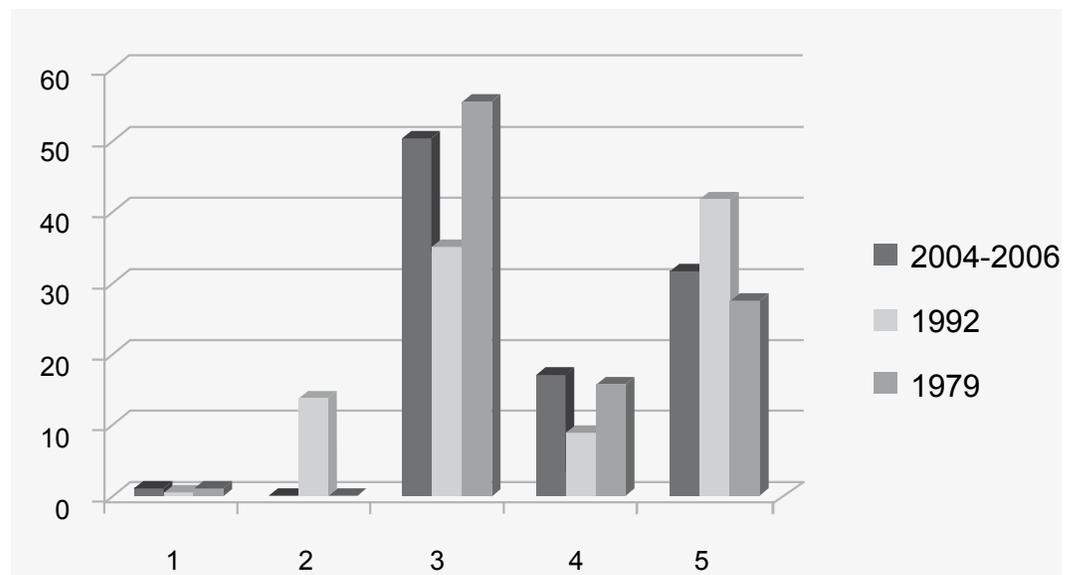


Figura 11. Resultados de la aplicación MES en porcentajes

la Escuela de Ciencias Geográficas de la Universidad Nacional de Costa Rica, por la colaboración brindada para procesar las capas de información digital necesarias para la aplicación del MES.

Bibliografía

Comisión Europea de Medio Ambiente. S.f. CORINE land resources. <http://www.eea.europa.eu/es>. (Fecha de consulta: 18 de marzo del 2009).

Google Earth (2009). Imágenes del Pacífico Norte de Costa Rica 2004 -2006. (Fecha de consulta: marzo del 2009).

Instituto Tecnológico de Costa Rica. *Atlas digital de Costa Rica*. Capa de capacidad de uso de la tierra. 1:200.000.

Laboratorio de Sistemas de Información Geográfica. *Bases digitales de las curvas de nivel 1: 10.000 de Costa Rica*. Escuela de Ciencias Geográficas de la Universidad Nacional de Costa Rica.