

**Instituto Tecnológico de Costa Rica
Universidad Estatal a Distancia
Universidad Nacional de Costa Rica
Doctorado Interuniversitario en Ciencias Naturales para el
Desarrollo**

**Geomorfología, uso de la tierra y dinámica erosión/sedimentación
como aspectos claves para iniciar la gestión ambiental en la cuenca
hidrográfica del río Nosara, Guanacaste, Costa Rica**

**Tesis sometida a la consideración del Programa de Estudios del
Doctorado en Ciencias Naturales para el Desarrollo, para optar por
el Grado de Doctor Académico.**

Estudiante

Aurora Hernández Ulate

Tutora

Lolita Campos Bejarano, Ph.D.

Lectores

Claudia Charpentier Esquivel, Ph.D.

Víctor Cortés Granados, Ph.D.

Costa Rica

21 de junio, 2010

Índice

	<i>página</i>
Abreviaturas	x
Resumen	1
Summary	4
Introducción	7
Capítulo 1. Protocolo de Investigación	9
1.1 Introducción al problema de investigación	9
1.2 Objetivos	11
1.3 Métodos y materiales	12
1.4 Marco conceptual	22
Capítulo II Características geográficas de la cuenca hidrográfica del río Nosara	25
2.1 Clima en la cuenca hidrográfica del río Nosara	27
2.2 Suelos	31
2.3 Cuenca alta, media y baja	31
Capítulo III. Geomorfología de la cuenca hidrográfica del río Nosara	35
3.1 Constitución geológica de la cuenca hidrográfica del río Nosara	35
3.2 Unidades geomorfológicas en la cuenca hidrográfica del río Nosara	38
3.3 Cambios en las formas fluviales	53
Capítulo IV. Formaciones superficiales en la cuenca hidrográfica del río Nosara	58
4.1 Procesos morfodinámicos en la cuenca hidrográfica del río Nosara	65
Capítulo V Capacidad de uso de la tierra, uso de la tierra y erosión en la cuenca hidrográfica del río Nosara	69

5.1	Clases de capacidad de uso de la tierra en la cuenca del río Nosara	69
5.2	Uso de la tierra en la cuenca hidrográfica del río Nosara	72
5.2.1	Usos de la tierra y conflictos de uso en 1979	72
5.2.2	Usos de la tierra y conflictos de uso en 1992	74
5.2.3	Usos de la tierra y conflictos de uso interpretados en la composición de imágenes de satélite 2004-2006	77
5.3	Comportamientos ambientales y percepciones del tema ambiental relacionado con el uso de la tierra y el recurso hídrico en la Cuenca del Nosara	80
Capítulo VI	Modelo Cualitativo de la dinámica erosión/sedimentación en la cuenca hidrográfica del río Nosara	83
6.1	Aplicación MES	83
6.2	Reflexión de los resultados de la aplicación Mes	89
Capítulo VII	Discusión. Relación del cambio de las formas, con el uso de la tierra y los procesos de erosión y sedimentación en la cuenca hidrográfica del río Nosara	95
7.1	Geomorfología y aspectos denudacionales relacionados con las formaciones superficiales de la cuenca hidrográfica del río Nosara	95
7.2	Uso de la tierra y sus transformaciones	96
7.3	Dinámica erosión/sedimentación	98
7.4	Geomorfología, uso de la tierra y amenazas en la cuenca hidrográfica del río Nosara	99
	Conclusiones	102
	Recomendaciones	110
	Referencias	115
	Anexos	121

Índice de figuras

	<i>página</i>	
Figura 1.1	Proceso metodológico.	12
Figura 1.2	Composición de imágenes a partir de Google Earth, 2009.	15
Figura 1.3	Salpique y arranque de partículas.	19
Figura 1.4	Tipos de transporte en el ambiente acuático.	23
Figura 1.5	Medios sedimentarios y formas litorales.	24
Figura 2.1	Subcuencas y división cantonal en la cuenca hidrográfica del río Nosara.	25
Figura 2.2	Unión de los ríos Nosara, montaña y Quebrada Seca cerca de la desembocadura.	26
Figura 2.3	Datos de caudales para la cuenca hidrográfica del río Nosara (litros/segundo).	26
Figura 2.4	Temperatura media registrada por las estaciones Nicoya y Ferco-Garza.	27
Figura 2.5	Precipitación en milímetros para las estaciones Nicoya, Ferco-Garza y SENARA.	27
Figura 2.6	Precipitaciones anuales en una fase fría y una cálida de ENOS en la cuenca hidrográfica del río Nosara.	28
Figura 2.7	Meses en que se presentaron inundaciones en la región Chorotega durante años con influencia del fenómeno de La Niña.	29
Figura 2.8	Áreas inundables y superficies elevadas en la cuenca hidrográfica del río Nosara.	29
Figura 2.9	Suelos en la cuenca hidrográfica del río Nosara.	31
Figura 2.10	Textura de los suelos en el río Nosara.	31
Figura 2.11	Frecuencia de altitudes y curva hipsométrica de la cuenca hidrográfica del río Nosara	32

Figura 2.12	Pendiente en grados de la cuenca hidrográfica del río Nosara.	32
Figura 3.1	Geología de la zona de estudio.	37
Figura 3.2	Lineamientos estructurales identificados en la cuenca hidrográfica del río Nosara.	39
Figura 3.3	Extensión relativa de las UG en la cuenca hidrográfica del río Nosara.	39
Figura 3.4	Unidades geomorfológicas en la cuenca hidrográfica del río Nosara.	40
Figura 3.5	Perfil A. Corte longitudinal desde la parte NE de la cuenca hasta la desembocadura.	41
Figura 3.6	Evolución de un escarpe de falla hasta formar las colinas residuales y los pedimentos.	42
Figura 3.7.	Colina de la cuenca media en el camino Maravilla-San Gerardo.	42
Figura 3.8	Perfil B. Corte longitudinal de la cuenca desde la sección noreste hacia la desembocadura en la sección sureste.	43
Figura 3.9	Perfil C. Corte transversal de la cuenca hidrográfica del río Nosara.	44
Figura 3.10	Vista de la meseta en su extremo oeste en la sección correspondiente a la cuesta Buenos Aires y esquema del escarpe de falla.	45
Figura 3.11	Corte de una colina que permite apreciar su constitución de rocas sedimentarias.	46
Figura 3.12	Colinas en Santa Marta de Nosara.	46
Figura 3.13	Pie de monte frente a Cuesta Buenos Aires.	47
Figura 3.14	Cárcava poco profunda camino a la Juntas.	47
Figura 3.15	Terraza en la cuenca baja del río Nosara.	48
Figura 3.16	Depósito y rejuvenecimiento del proceso erosivo en los ríos en la cuenca hidrográfica del río Nosara.	49
Figura 3.17	Cauce del río Nosara	50

Figura 3.18	Cauce del río Nosara, Montaña y Quebrada Seca en la cuenca baja.	51
Figura 3.19	Áreas de erosión, de incremento de la curvatura y vértices de los meandros en los lechos de los ríos Nosara y Montaña.	52
Figura 3.20	Barra arenosa en la desembocadura del río Nosara.	53
Figura 3.21	Acantilado y plataforma de abrasión en la desembocadura del río Nosara.	53
Figura 3.22	Avulsiones del río Nosara.	54
Figura 3.23	Meandro abandonado por el río Montaña a su paso por la comunidad del mismo nombre.	55
Figura 3.24	Cambios en los cursos de los ríos Nosara y Montaña.	55
Figura 3.25	Meandro en el río Nosara.	56
Figura 3.26	Ejemplo de los cambios en las barras de punto.	56
Figura 3.27	Cambios en la desembocadura y barra arenosa en el litoral.	57
Figura 4.1	Formación superficial en la Cuenca hidrográfica del Río Nosara.	58
Figura 4.2	Ejemplo de la coloración de las muestras 1, 4, 7 y 30.	60
Figura 4.3	Descripción de un perfil de la formación superficial en la parte media de la ladera sur del Cerro Molinillo en el sector de Cuesta Buenos Aires.	61
Figura 4.4	Pedestales en el cerro Cañas.	62
Figura 4.5	Usos de la tierra en la Formación Superficial Esperanza - Maravilla	63
Figura 4.6	Acercamiento al perfil de la formación superficial correspondiente a la muestra 25.	64
Figura 4.7	Procesos erosivos en la Formación superficial Ojochillal, en la localidad de Cerro Brujo.	65
Figura 4.8	Ladera en la Fila Picudas con pequeños valles estrechos y cóncavos, depósitos de pie de monte, cicatrices de deslizamiento y líneas de escarpe de falla.	66

Figura 4.9	Morfodinámica de la cuenca hidrográfica del río Nosara.	68
Figura 5.1	Clasificación de la cuenca hidrográfica del río Nosara según capacidad de uso de la tierra.	71
Figura 5.2	Clases de capacidad de uso de la tierra en la cuenca hidrográfica del río Nosara.	71
Figura 5.3	Porcentaje que ocupa cada uso de la tierra en 1979.	72
Figura 5.4.	Coberturas de la tierra en 1979.	73
Figura 5.5	Conflictos uso de la tierra por sobre uso en 1979.	74
Figura 5.6	Porcentaje del área de la cuenca que ocupaba cada uso de la tierra en 1992.	75
Figura 5.7	Cobertura de la tierra en 1992.	75
Figura 5.8	Área de las cuenca con conflictos uso por sobre uso en 1992.	76
Figura 5.9	Porcentaje del área de la cuenca que ocupaba cada uso de la tierra en 2004 – 2006.	77
Figura 5.10	Uso de la tierra 2004-2006 en la cuenca hidrográfica del río Nosara.	78
Figura 5.11	Área anual reforestada con incentivos forestales en el Cantón de Hojancha.	79
Figura 5.12	Conflictos de uso por sobre uso en la cuenca hidrográfica del río Nosara, en 2004 – 2006.	79
Figura 6.1	Clasificación de la erodabilidad de la textura de los suelos en la cuenca hidrográfica del río Nosara.	84
Figura 6.2	Clasificación de la erodabilidad de la profundidad de los suelos en la cuenca hidrográfica del río Nosara.	85
Figura 6.3	Clasificación de la precipitación en la cuenca hidrográfica del río Nosara.	86
Figura 6.4	Clasificación de la erodabilidad de las unidades geomorfológicas en la cuenca hidrográfica del río Nosara.	87

Figura 6.5	Clasificación de la cobertura vegetal de la cuenca hidrográfica del río Nosara según clases de uso de la tierra para 1979, 1992, 2004-2006.	89
Figura 6.6	Resultados de la aplicación MES para 2004-2006.	90
Figura 6.7	Resultados de la aplicación MES para 1992.	91
Figura 6.8	Resultados de la aplicación MES para 1979.	91
Figura 7.1	Evolución de las coberturas de la tierra en la cuenca hidrográfica del río Nosara.	97
Figura 7.2	Evolución de la cobertura boscosa en la cuenca hidrográfica del río Nosara.	98
Figura 7.3	Porcentajes resultantes de la aplicación MES para la cuenca hidrográfica del río Nosara.	99
Figura 7.4	Dique en la cuenca baja del río Nosara.	100

Índice de cuadros

		<i>página</i>
Cuadro 1.1	Simbología para las unidades geomorfológicas.	13
Cuadro 1.2	Imágenes de la cuenca baja de la cuenca hidrográfica del río Nosara.	14
Cuadro 1.3	Categorías para la clasificación de uso de la tierra.	16
Cuadro 1.4	Variables para determinar las áreas de erosión o las áreas susceptibles a la sedimentación en la cuenca hidrográfica del río Nosara.	17
Cuadro 1.5	Clasificación de la textura.	18
Cuadro 1.6	Clasificación de la profundidad.	18
Cuadro 1.7	Clases asociadas a los valores de FI.	19
Cuadro 1.8	Clases asociadas a la geomorfología.	19
Cuadro 1.9	Clases asociadas a rangos de pendientes.	20

Cuadro 1.10	Clases asociadas a la cobertura de la tierra.	20
Cuadro 1.11	Clasificación MES dentro del procesamiento en el SIG.	21
Cuadro 2.1	Comunidades y desbordamientos en la cuenca hidrográfica del río Nosara.	30
Cuadro 3.1	Aspectos para la interpretación de las unidades geomorfológicas de la Cuenca hidrográfica del río Nosara.	35
Cuadro 3.2	Formaciones geológicas descritas para la zona de estudio.	36
Cuadro 3.3	Sistemas de lineamientos estructurales en la cuenca hidrográfica del río Nosara.	38
Cuadro 5.1	Clases de capacidad de uso en la cuenca hidrográfica del río Nosara.	70
Cuadro 5.2	Leyes relacionadas con las actividades de reforestación, las plantaciones forestales y que regulan el cambio de uso de la tierra en bosques.	80
Cuadro 6.1	Clasificación de la textura de los suelos.	84
Cuadro 6.2	Clasificación de la profundidad.	85
Cuadro 6.3	Cálculo del índice de Fournier.	86
Cuadro 6.4	Clasificación de áreas según el índice interpolado de Fournier.	86
Cuadro 6.5	Clasificación de la geomorfología.	87
Cuadro 6.6.	Clasificación de la cobertura de la tierra en la cuenca hidrográfica del río Nosara.	88
Cuadro 6.7	Rangos resultantes de la aplicación MES.	89
Cuadro 6.8	Extensión de cada clase analizada en la cuenca del río Nosara, en porcentajes.	92
Cuadro 6.9	UG y dinámica de erosión/sedimentación.	93
Cuadro 7.1	Resumen de las UG identificadas en la cuenca hidrográfica del río Nosara.	100

Abreviaturas y siglas

Abreviaturas y Siglas

ASADAS	Asociaciones administradoras de sistemas de acueductos y alcantarillados comunales
CNE	Comisión Nacional de Prevención de Riesgos y Atención de Emergencias
CORINE	Coordination of Information on the Environment de la Comisión Europea de Medio Ambiente
D	Deposición
D7	Depósitos de taludes
E	Erosión
E/D-T	Formas de origen mixto (erosión o deposición con control tectónico)
ENOS	Fenómeno El Niño/Oscilación del Sur
FI	Índice de Fournier modificado
F1	Cauces fluviales
F6	Terrazas
IGN	Instituto Geográfico Nacional de Costa Rica
IMN	Instituto Meteorológico Nacional
INEC	Instituto Nacional Estadísticas y Censos
ITC	International Institute for Aerospace Survey and Earth Sciences
ITCR	Instituto Tecnológico de Costa Rica
MAG	Ministerio de Agricultura y Ganadería
MES	Modelo de Erosión/Sedimentación para la cuenca hidrográfica del río Nosara
MINAET	Ministerio de Ambiente, Energía y Telecomunicaciones
M3	Barra

PNUMA	Programa de Naciones Unidas para el Medio Ambiente
SENARA	Servicio Nacional de Aguas Subterráneas Riego y Avenamiento
SIG	Sistema de Información Geográfica
S2	Colinas onduladas a muy onduladas
S4	Terreno lleno de colinas a montañoso
S5	Meseta
S10	Colinas residuales
S12	Escarpes de falla
S13	Depresión tectónica
T	Origen tectónico
UNA	Universidad Nacional
UNESCO	Organización de las Naciones Unidas para la Educación, la Ciencia y la Cultura
UNICAMP	Universidad Estatal de Campinas

Resumen

Tesis Geomorfología, uso de la tierra y dinámica erosión/sedimentación como aspectos claves para iniciar la gestión ambiental en la cuenca hidrográfica del río Nosara, Guanacaste, Costa Rica.

El objetivo de la tesis doctoral titulada “Geomorfología, uso de la tierra y dinámica erosión/sedimentación como aspectos claves para iniciar la gestión ambiental en la cuenca hidrográfica del río Nosara, Guanacaste, Costa Rica”, fue analizar la morfodinámica de la parte baja de la cuenca hidrográfica del río Nosara, mediante la interpretación geomorfológica, de las formaciones superficiales, del uso de la tierra y sus transformaciones y de la modelización cualitativa de la erosión y la sedimentación en la cuenca.

La cuenca hidrográfica del río Nosara se encuentra entre las coordenadas 9° 57'07" y 10°10'56" de latitud norte y de 85°42'02" y 85°23' 09" longitud oeste, cubriendo un área de 418,8 km² y sus aguas desembocan en el Océano Pacífico. La investigación que se desarrolló en este espacio geográfico constituye un paso necesario para empezar a planificar acciones tendientes a la gestión ambiental en esta cuenca, dado que no es posible iniciar con este proceso si no se cuenta con el conocimiento del sistema natural y una consideración de cómo las actividades humanas a través del tiempo han producido cambios y cómo estos cambios se manifiestan en las condiciones actuales del ambiente y qué impactos producen sobre las comunidades asentadas en ellos. Esta información es necesaria, debido a que esta cuenca hidrográfica presenta en la actualidad procesos intensos de cambio de uso, crecimiento de zonas urbanas y una amenaza de inundaciones en la parte baja y media.

Los principales resultados obtenidos son los siguientes:

Sobre las rocas duras y blandas fue posible identificar 10 tipos de unidades geomorfológicas, de diversos orígenes: tectónico (T), de erosión (E), de depositación (D) y mixtas (erosión o depositación con control tectónico (E/D-T)). Sin embargo, es importante anotar que en su mayoría (96%) corresponden con formas de origen estructural. Así la configuración actual de la cuenca hidrográfica del río Nosara ha tenido en los procesos estructurales y tectónicos el principal motor de su origen y de la evolución de su relieve y por lo tanto, constituyen factores controlantes de su geometría y su geomorfología. Las formas mayores se

consideran particularmente orientadas a partir de las fallas Quirimán y Nosara (descritas por Dengo, 1962) y el lineamiento estructurales como el L14. Estas unidades geomorfológicas se clasificaron conforme a su origen en S2 (E-T), S4 (T), S5 (T), S10 (E), S12 (T), S13 (T), D7 (D), F1 (E) F6 (D), M3 (D).

Con respecto a la morfogénesis de la cuenca baja se puede apuntar que las formas son de origen mixto, es decir, por una combinación de control estructural y de depositación cuaternaria, que incluye amplios desarrollos de lechos fluviales meándricos y áreas de acumulación de sedimentos, la llanura aluvial, terrazas aluviales la barra arenosa costera, las barras de punto y centrales del lecho del río y la playa pegada al continente.

En la actualidad en toda la cuenca hidrográfica, predominan los procesos tectónicos y denudacionales. El primero de ellos incide en la constitución de las formas y su orientación, por ejemplo, en dirección y el patrón rectangular del drenaje desarrollado, el alineamiento de montañas y colinas, el rejuvenecimiento del proceso de erosión y definen características como las de los valles en la cuenca alta, que son profundos y alargados. El segundo, está dominado por la erosión hídrica laminar como principal proceso de desgaste de las formas y la sedimentación como proceso de acreción y cambio de estas, como por ejemplo, el caso de las barras de punto y centrales en los lechos de los ríos Nosara y Montaña.

La erosión hídrica está directamente vinculada con la precipitación que recibe la cuenca del Nosara, que es mayor desde la zona central de la cuenca hacia la parte baja durante las fases frías de ENOS y existe una concentración de la precipitación, según la interpolación de los resultados del índice de Fournier, en la sección media de la cuenca. Esto implica que la sección media está recibiendo, por ejemplo, durante las fases frías del fenómeno de ENOS dos veces la precipitación promedio anual registrada por las estaciones Nicoya, Ferco Garza y Nosara. Este dato unido a las descripciones geomorfológicas, permitieron observar como el relieve (forma, pendiente y orientación) y la precipitación son los factores que potencian las inundaciones en la cuenca media y baja.

Para la comprensión de la relación de la erosión/sedimentación en la cuenca hidrográfica del Nosara se desarrolló y aplicó el Modelo de Erosión/Sedimentación para la Cuenca hidrográfica del río Nosara (MES). Se considera que los resultados de la aplicación permiten afirmar que hay una relación directa entre la eliminación de la cobertura del bosque con el aumento de la erosión hídrica moderada y a la vez un aumento en la sedimentación. Esto

podría implicar que las áreas de la cuenca media y baja cambian debido al despale en las partes alta de una condición de erosión laminar alta a una moderada o baja y como consecuencia la sedimentación que ocurre está colmatando los cauces y podría derivar en un aumento de la amenaza de inundación por relleno del canal.

Con respecto a los datos obtenidos en esta tesis en relación con los procesos que producen las avulsiones del curso del río Nosara y las inundaciones en la cuenca media y baja, se puede afirmar que estas son parte de la dinámica natural del río y que se presume están controladas por la disposición estructural y tectónica de las formas en la cuenca. La sección media en el borde SW de las depresiones tectónicas concentran el agua colectada en las montañas en una sección plana en la cuenca media. Después de la zona de los desbordamientos en la cuenca media, se produce en la sección media un rejuvenecimiento del relieve, que unido con la recepción de altas precipitaciones, producen que nuevamente el agua sea colectada y llevada principalmente por el río Pilas Blancas y Nosara hasta su confluencia, a partir de la cual se presenta el área afectada por las inundaciones en la sección baja.

El control del uso de la tierra y la aplicación de prácticas de conservación de suelos y otras medidas proambientales pueden ayudar a paliar los efectos de estas crecidas de los ríos, pues pueden derivar en una disminución de los materiales desprendidos en las laderas y consecuentemente, en la cantidad de materiales que trasladen los cauces hacia las secciones que son susceptibles a inundarse.

Las avulsiones del río, las crecidas dentro de su lecho ordinario y los desbordamientos que provocan las inundaciones son los factores de amenaza de las comunidades ubicadas en la cuenca baja con relación a los cursos fluviales del Nosara y Montaña. La dinámica natural de esos dos ríos representa un desafío que la población debe superar mediante planes de ordenamiento territorial. No se descarta que los diques puedan controlar algunas de las avenidas que podrían derivar en desbordamientos, lo que se señala, es que las medidas de atención a esta dinámica fluvial deben incorporar el ordenamiento territorial para asegurar la reducción de la vulnerabilidad que sufren las comunidades afectadas.

Summary

Thesis Geomorphology, use of land and dynamic erosion/sedimentation as key aspects to initiate the environmental management in the hydrographic basin of the Nosara River, Guanacaste, Costa Rica.

The objective of the doctoral thesis named "Geomorphology, use of land and dynamic erosion/sedimentation as key aspects to initiate the environmental management in the hydrographic basin of the Nosara River, Guanacaste, Costa Rica" was to analyze the morphodynamic of the lower region of the Nosara River, by means of the geomorphologic interpretation of the superficial formations, the use of land and its transformations and of the qualitative modeling of the erosion and the sedimentation of the river.

The basin of the Nosara River is located between the 9° 57'07'' and 10°10'56'' coordinates of north latitude and 85°42'02'' and 85°23' 09'' west length, covering a 418,8 km² area and its current leads in the Pacific Ocean. The investigation developed in this geographical space constitutes a necessary initiative to start planning actions related to environmental management in this basin, since it is not possible to start with this process if there is not enough knowledge of the natural system, and a consideration of how human activities have caused changes through time, and how these changes manifest in the present conditions of the environment and what impacts they produce to the communities settled on them. This information is necessary since this hydrological basin in the present has intense processes of change and use, development of urban zones and a threat of floods in the lower and middle region.

The main results obtained are the following:

About the hard and soft rocks it was possible to identify ten kinds of geographical units of different origins: tectonic (T), erosion (E), deposition (D) and mixed (erosion or deposition with tectonic control (E/D-T)). Nevertheless, it is important to point out that the majority (96%) corresponds with forms of structural origin. Then the present configuration of the hydrological basin of the Nosara River has had in its structural and tectonical processes the main force of its origin and of the revolution of its relief, and as a result, they constitute controlling factors of its geometry and geomorphology. The major forms are particularly considered as they are oriented from the Quirimán and Nosara faults (described by Dengo, 1962) and the structural

lining as the L14. These geographical units are classified according to its origin in S2 (E-T), S4 (T), S5 (T), S10 (E), S12 (T), S13 (T), D7 (D), F1 (E) F6 (D), M3 (D).

With respect to the morphogenesis of the lower basin, its forms are mixed origin, in other words, by a combination of structural control and of quaternary deposit that includes a big amount of developments of looping river beds and areas of accumulation of sediments, the river plain, river terrace, the sandy coast bar, the bars of the point and central of the river bed and the beach by the continent.

Nowadays in the entire hydrologic basin, there are tectonic and denudational processes. The first one faults into the constitution of the forms and its orientation, for example, the direction and the rectangular pattern of the developed drainage, the mountainous lining and hills, the aging process of erosion, and they define characteristics of the valleys in the higher basin which are deep and large. The second one is dominated by the hydraulical laminated erosion as the main process of erosion of the forms, and the sedimentation as the process of accretion and changes as for instance, the bars of point and central of the Nosara and Montaña Rivers.

The hydraulical erosion is directly related to the precipitation that the Nosara basin receives and this is bigger from the central zone of the basin to the lower part during the cold phases of ENOS and there is a concentration of the precipitation, according to the interpolation of the results of the Fournier index in the middle section of the basin. This means that the middle section is receiving, for instance, during the cold phases of the phenomenon of ENOS twice the annual average precipitation registered in the Nicoya, Ferco Garza and Nosara seasons.

This fact together with the geomorphological descriptions allowed to observe how to the relief (shape, slope and orientation) and the precipitation are the factors that cause the floods in the middle and lower basin.

In order to understand the relation of the erosion/sedimentation in the hydrological basin of the Nosara, the Model Erosion/Sedimentation for the Hydrological Basin of the Nosara River (MES) was developed and applied. The results reveal that the application asserts that there is a direct relation between the elimination of the coverage of the forest with the increase of the moderate hydrological erosion and an increase in sedimentation as well. This could imply that the areas of the middle and lower basin change due to the deforestation in the high parts of

the condition of high laminar erosion to a moderate or low and as a consequence the sedimentation that occurs is filling the beds and could be caused by an increase of the threat of flood due to the filling of the canal.

In relation to the data obtained in this study about the processes that produce the avulsions of the course of the Nosara River and the floods in the middle and low basin, it could be said that they are part of the natural dynamic of the river and they are controlled by the structural and tectonical disposition of the forms of the basin. The middle section in the SW border of the tectonical depressions gathers the water collected in the mountains in a flat section in the middle basin. After the zone of the overflowing in the middle basin, an rejuvenation of the relief is produced in the middle section which is united with the reception of high precipitations and they produced that water is gathered and taken mainly by the Pilas Blancas and Nosara Rivers up to its junction, where there is an area affected by the floods in the low session.

The control of the use of the land and the application of the conservation practice of the soils and other pro-environmental measures can help to ease the effects of the floods of the rivers, since they can lead to a decrease of the removed materials in the hillsides and consequently, in the amount of materials that take the bed to the sections that are vulnerable to floods.

The avulsions of the river, the floods of the ordinary bed and the overflowing caused by the floods are the factors of threat of the communities located in the low basin in relation to the courses of Nosara and Montaña Rivers. The natural dynamics of these rivers represent a challenge that the community must face with the help of territorial planning. Also the docks can control some of the causes that can produce overflowing, which means, that the precautions to this river dynamics must include the territorial planning to ensure the reduction of the vulnerability suffered by the affected communities.

Introducción

La tesis “Geomorfología, uso de la tierra y dinámica erosión/sedimentación como aspectos claves para iniciar la gestión ambiental en la cuenca hidrográfica del río Nosara, Guanacaste, Costa Rica”, constituye un paso necesario para planificar las acciones de gestión ambiental en esta cuenca, pues es un área que en la actualidad presenta procesos de cambio de uso de la tierra, el crecimiento de zonas urbanas y una amenaza de inundaciones en la parte media y principalmente en la parte baja. Los resultados presentan el estado de estos tres aspectos e incorporan conclusiones y recomendaciones que se pueden aplicar en el corto plazo para avanzar en el desarrollo sostenible de la cuenca y mitigar el impacto de las inundaciones.

Este trabajo se propuso como objetivo general analizar la morfodinámica de la parte baja de la cuenca hidrográfica del río Nosara, mediante la interpretación geomorfológica, de las formaciones superficiales, del uso de la tierra y sus transformaciones y de la modelización cualitativa de la erosión y la sedimentación en la cuenca. Los resultados producto del cumplimiento de este objetivo se presentan en los siete capítulos que componen este documento. Así, en el Capítulo I se pueden encontrar todos los detalles relacionados con el protocolo de investigación. Los primeros resultados se muestran en el Capítulo II donde se señalan las principales características geográficas de la cuenca hidrográfica del Nosara.

El Capítulo III tuvo por objetivo la elaboración de un mapa geomorfológico de la zona de estudio. Los resultados de este capítulo fueron principalmente: a) la identificación sobre las rocas duras y blandas de 10 tipos de unidades geomorfológicas; b) la mayoría de las geoformas (96%) son de origen estructural y las formas mayores están orientadas a partir de las fallas Quirimán y Nosara (descritas por Dengo, 1962) y el lineamiento geológico L14 y c) se puede apuntar que las geoformas de la cuenca baja del río Nosara son de origen mixto y que incluyen amplios desarrollos de lechos fluviales meándricos y áreas de acumulación de sedimentos, la llanura aluvial, terrazas aluviales la barra arenosa costera, las barras de punto y centrales del lecho del río y la playa pegada al continente.

En el Capítulo IV, con respecto al estudio de las formaciones superficiales y la dinámica de la denudación y fue posible establecer que: a) la erosión hídrica laminar es el principal proceso de desgaste de las formas; la sedimentación es el principal proceso de acreción y cambio de

las geoformas en la parte baja de la cuenca, como por ejemplo, el caso de las barras de punto y centrales en los lechos de los ríos Nosara y Montaña; y b) la zona media de la cuenca presenta procesos de erosión laminar intensa, cárcavas en las partes bajas de las colinas, disecciones poco profundas en las laderas (de 1 a 2 metros) e incipientes procesos de reptación.

En el Capítulo V se establecieron las diferencias entre la capacidad de uso y el uso de la tierra. Los resultados mostraron que el bosque es la cobertura que tuvo mayores variaciones, pues en la interpretación del 2004-2006 no fue posible el reconocimiento del bosque natural, ni tampoco la categoría de bosque natural intervenido.

En el Capítulo VI se desarrolló el modelo cualitativo de la dinámica erosión/sedimentación para el área de estudio. Los resultados obtenidos para la cuenca mostraron como en 1979, las áreas de sedimentación o sin erosión evidente fueron superiores a las registradas en 1992 e iguales a las de 2004-2006. Esto se puede explicar por la falta de cobertura de la tierra en 1992 que elevó las áreas con procesos de erosión intensos o moderados. La erosión intensa se manifestó principalmente en el crecimiento de las barras de punto en la cuenca baja.

Finalmente, en el Capítulo VII se desarrolló una discusión sobre la relación del cambio de las formas, principalmente en la cuenca baja del río Nosara, con el uso de la tierra y los procesos de erosión y sedimentación. Posteriormente se proponen las recomendaciones atendiendo a tres aspectos, estos son: a) las inundaciones en la cuenca media y baja comprendidas como parte del dinamismo natural y cambios en los usos de la tierra que se han producido en la cuenca; b) los usos de la tierra, que deben ser controlados por las instituciones competentes y c) la educación ambiental, la investigación y la transferencia de información entre investigadores, instituciones y de estos a las comunidades es un aspecto necesario para la comprensión del ambiente y una gestión integral de la cuenca hidrográfica del río Nosara.

CAPÍTULO I

Protocolo de Investigación

1.1 Introducción al problema de investigación

La geomorfología como el estudio de la formas de la tierra puede aportar conocimientos sobre los procesos naturales de un espacio determinado y esta información contribuye a su vez a dirigir el manejo del ambiente. En este sentido, Tapia-Varela y López-Blanco (2002) apuntan que los mapas analíticos derivados de los levantamientos geomorfológicos “pueden ser útiles dentro de la fase de diagnóstico en planeación, asimismo para establecer programas de recuperación ambiental, tales como la atenuación y el control de los procesos de erosión acelerada, la determinación de la aptitud de uso del suelo, la planeación del crecimiento de las áreas urbanas, etc.” (2002: 51).

El reconocimiento e investigación de la geomorfología, los procesos morfodinámicos y su impacto en la cuenca hidrográfica del río Nosara es importante, pues periódicamente la sección media y baja de la cuenca se encuentran sometidas a inundaciones provocadas por las crecidas del río Nosara, las cuales arrastran sedimentos que se acumulan en el cauce, principalmente en la sección de la llanura. Además, las avulsiones¹ del curso en la sección baja de la cuenca provocan que las poblaciones que se han ido asentando cerca de las márgenes vivan en riesgo.

La atención de la dinámica natural de los ríos Nosara y Montaña en la cuenca baja y las alteraciones que ésta puede haber recibido son temas fundamentales para contribuir con información que permita paliar los efectos negativos sobre las poblaciones en la cuenca media y baja derivados de la dinámica fluvial. Bajo este marco, las preguntas que guiaron esta investigación son las siguientes:

- ✿ ¿Qué procesos han influido en el origen y evolución de las geoformas en la cuenca hidrográfica del río Nosara?
- ✿ ¿Cuál es el efecto del uso de la tierra en la cuenca hidrográfica del río Nosara sobre la morfogénesis en la parte baja de dicha cuenca? ¿Cuáles serían las

¹ La avulsión se define como los cambios en el cauce que implican el abandono de este y la formación de uno nuevo. Se producen porque las pendientes se reducen hasta que son menores que la pendiente que el río tendría al tomar un nuevo rumbo (Slingerland y Smith, 1998).

variables claves para la modelización de la erosión y la sedimentación en esta cuenca? ¿Cómo esto colabora en la comprensión de las inundaciones que se presentan?

- ✿ ¿Cuáles son las posibles consecuencias de las transformaciones del uso de la tierra sobre el ambiente, principalmente en la dinámica fluvial de la parte baja, y las comunidades? ¿Qué recomendaciones se pueden derivar del estudio de estos aspectos en esta investigación de tesis?

Como punto de partida, se puede afirmar que los primeros estudios de geomorfología en Costa Rica fueron realizados principalmente por Madrigal (1976 y 1980), Beaudet, Gabert y Bergoing (1982); Bergoing y Battistini (1983a, 1983b) y Bergoing (1998). Además, Bergoing, Brenes, Malavassi y Jiménez realizaron los mapas geomorfológicos de todo el país a 1:100.000, los cuales fueron publicados en 1982. Otras investigaciones geomorfológicas se han concentrado en áreas específicas del país, como en los Cerros de la Carpintera (Meza, 1979), en la cuenca del río Reventazón (Brenes, 1976), en la sección abarcada por la Hoja Abra (Rojas, 1978), en el cantón de Talamanca (Bergoing, 1978a) y el sector de Quepos – Manuel Antonio (Bergoing, 1978b). Adicionalmente, el curso Campaña Geológica de la Escuela Centroamericana de Geología y los trabajos finales de graduación elaborados en esta temática en la Universidad de Costa Rica, tanto de la Escuela de Geografía como de la Escuela Centroamericana de Geología han producido conocimiento para la comprensión de la geología y la geomorfología costarricense.

En los últimos años, dado el impacto de eventos naturales extremos que se manifiestan como desastres para la sociedad, la geomorfología ha cobrado especial importancia en los estudios de impacto ambiental (Astorga y Mende, 2005a, 2005b), en el análisis de amenazas naturales y riesgos geológicos, en los planes reguladores y en general, como un elemento básico en la aplicación del ordenamiento del territorio (Astorga, 1995; 2004a y 2004b).

Tres trabajos que fueron el sustento teórico para el desarrollo de la metodología propuesta en esta tesis son:

- ✿ el Sistema ITC (International Institute for Aerospace Survey and Earth Sciences) para el Levantamiento Geomorfológico de Verstappen, Zuidam, Meijerink y Nossin (1991);

- ✿ el artículo de Tapia-Varela y López-Blanco (2002) que propone una modificación de la metodología ITC y le adiciona la generación de un modelo de sombras del relieve; y
- ✿ la metodología del Programa CORINE (Coordination of information on the environment) para la determinación del riesgo actual y potencial de erosión desarrollada por la Comisión Europea de Medio Ambiente (1992), que se constituyó en la orientación para el desarrollo del Modelo de erosión y sedimentación de la cuenca hidrográfica del río Nosara (MES) y del cual se tomaron los valores para algunas de las categorías aplicadas en la modelización cualitativa de las capas temáticas.

1.2 Objetivos

Objetivo General

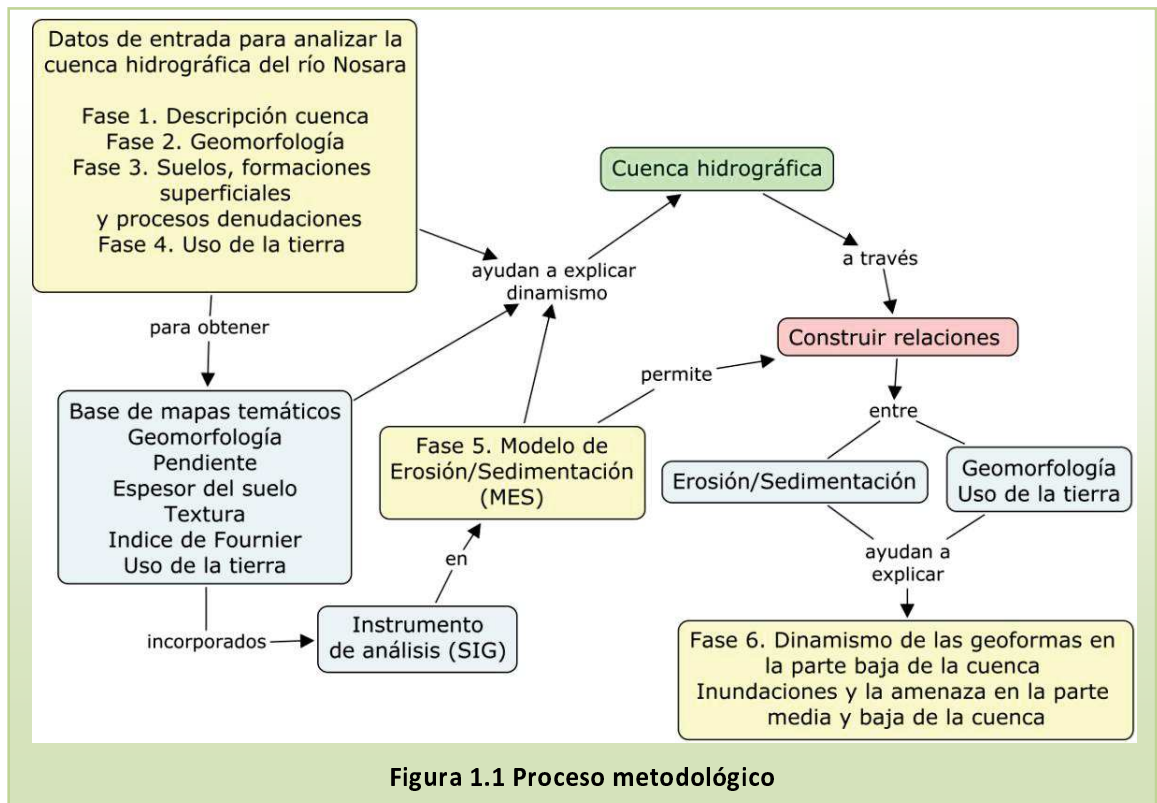
Analizar la morfodinámica de la parte baja de la cuenca hidrográfica del río Nosara, mediante la interpretación geomorfológica, de las formaciones superficiales, del uso de la tierra y sus transformaciones y de la modelización cualitativa de la erosión y la sedimentación en la cuenca.

Objetivos específicos

1. Describir las principales características geográficas de la cuenca hidrográfica del río Nosara.
2. Elaborar el mapa de las unidades geomorfológicas para el área de estudio.
3. Caracterizar las formaciones superficiales, a la luz de los procesos denudacionales en la cuenca hidrográfica del río Nosara.
4. Establecer las diferencias que se presentan entre la capacidad de uso y el uso de la tierra en la cuenca hidrográfica del río Nosara.
5. Elaborar un modelo cualitativo de la dinámica erosión/sedimentación para el área de estudio.
6. Proponer recomendaciones que orienten el uso de la tierra en la cuenca hidrográfica del río Nosara para reducir las vulnerabilidades de la población.

1.3 Métodos y materiales

El método de investigación aplicado en esta tesis es el explicativo con un diseño no experimental, el cual como proceso se ha subdividido para su explicación y aplicación en seis fases, las cuales se relacionan entre sí (figura 1.1). Las fases metodológicas se explican a continuación:



Fase 1. Caracterización de la cuenca hidrográfica del río Nosara. Se procedió a elaborar el gráfico de altitudes y la curva hipsométrica para describir la sección alta, media y baja de la cuenca y se describe el comportamiento de la precipitación en la cuenca y las áreas que son afectadas por las inundaciones en la sección media y baja.

Fase 2. Levantamiento geomorfológico de la cuenca hidrográfica del río Nosara. El procedimiento del levantamiento se ha adaptado de Verstappen, Zuidam, Meijerink y Nossin (1991) y de Tapia-Varela y López-Blanco (2002) y es el siguiente:

- ✿ **Recopilación de información de base:** fue necesario obtener información sobre estudios anteriores geomorfológicos y geológicos en la cuenca hidrográfica del río Nosara o en algunas de sus secciones. Además, se realizó una observación

preliminar de las fotografías aéreas del Proyecto Terra a escala 1:40.000 para reconocer previamente el área de estudio.

- Generación de un modelo de sombras del relieve e interpretación:** La interpretación geomorfológica se realizó sobre un modelo de sombras del relieve generado a partir de curvas de nivel cada 10 metros extraídas de las fotografías Terra 1:40.000, las cuales fueron suministradas por el Laboratorio de Sistemas de Información de la Escuela de Ciencias Geográficas de la Universidad Nacional. Sobre el modelo se interpretaron las unidades geomorfológicas (cuadro 1.1) y los lineamientos estructurales.

Cuadro 1.1 Simbología para las unidades geomorfológicas

Origen de la formas	Colores asignados
Estructural	Púrpura
Denudacional	Marrón
Fluvial	Verde
Lacustre / marino	Azul oscuro

Fuente: Verstappen, Zuidam, Meijerink y Nossin, 1991.

- Verificación e incorporación de información en el campo del mapa provisional:** se realizó un recorrido de la cuenca hidrográfica del río Nosara para obtener una visión general y después, se inició con un trabajo de cuatro giras para la observación detallada, la verificación, la obtención de datos y el mapeo detallado en áreas clave.
- Cartografía final y documento explicativo:** en el mapa resultante aparecen las unidades geomorfológicas clasificadas y en el documento que lo acompaña sobre geomorfología se explican de forma específica. En este documento se puede identificar la forma, los orígenes, la edad y el desarrollo.

Para el estudio de la variación de la desembocadura del curso fluvial y de la llanura aluvial, se estudiaron las fotografías que abarcan el litoral que posee el Instituto Geográfico Nacional (IGN) para los años 1945, 1964, 1971 y 1981. Para 1998, se utilizaron las imágenes del Proyecto Terra del Registro Nacional de Costa Rica y para el 2004 la imagen de satélite de la desembocadura disponible en Google Earth (cuadro 1.2). Esta información se

complementó con las características generales de los sedimentos encontrados en los cauces principales de estas secciones.

Cuadro 1.2 Imágenes de la cuenca baja del río Nosara

Imágenes	Escala	Año
CAW-11-111 a CAW-11-113	1:40.000	1945
VV-HURD –M7/ AID 6 1316 a 318	1: 30.000	1964
Misión 16 Línea 6 448 a 451 y	1: 20.000	1971
Misión 16 Línea 5 402 y 403	1: 20.000	1971
IGN 22901 R-169 Línea 220 125 y 126	1: 40.000	1981
Misión Terra	1:40.000	1998
Google Earth	1: 300.000	2004 - 2006

Fuente: Elaboración propia

Fase 3. La caracterización de las formaciones superficiales. Se realizó a partir de información de los suelos, textura y observaciones de campo. Los datos de textura y materia orgánica fueron tomados de las bases de datos digitales de suelos (textura y materia orgánica) facilitadas por la Escuela de Geografía de la Universidad de Costa Rica y fueron modificadas a partir del resultado del procesamiento de 10 muestras en el Laboratorio de Suelos del Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria (anexo 1 y 2). Estas muestras fueron extraídas en una profundidad de 0 a 30 cm.

Los tipos de suelos fueron tomados del Atlas Digital de Costa Rica del Instituto Tecnológico de Costa Rica y se modificaron en la cuenca media por las observaciones realizadas en campo. Es importante aclarar que la zona oeste y central de la cuenca hidrográfica del río Nosara resultó poco accesible por la falta de caminos.

También se caracterizaron los procesos denudacionales a partir de las observaciones de campo, las cuales fueron complementadas con procesos de laboratorio. El procesamiento en el laboratorio se realizó en el Laboratorio de Geomorfología de la Escuela de Geografía de la Universidad de Costa Rica y consistió en la determinación de los límites de Atterberg en 36 muestras (anexo 3). Además, se procedió a la identificación de los colores de las muestras según la Tabla de Color de Munsell (2000), de la cual se usaron las páginas correspondientes a 5YR, 7.5YR y 10YR.

Con los resultados de esta fase se elaboró un mapa de formaciones superficiales, las cuales se clasificaron a partir de los materiales que se encuentran sobre la superficie del territorio y no forman roca consolidada. Para la elaboración de este mapa se ha realizado una clasificación de las formaciones superficiales, considerando las observaciones de campo sobre sus características de textura, suelos, los procesos erosivos y la depositación y se han evaluado sus espesores, aportándose datos puntuales de los mismos provenientes de la recopilación de datos realizada por observaciones directas en 36 perfiles de muestreo.

Fase 4. Uso de la tierra. Esta fase se subdividió en dos áreas de trabajo: los usos de la tierra y la sobreposición de estos usos con la capacidad de uso para obtener las zonas de conflicto por uso de la tierra, definidas como aquellas cuyo uso rebasa su capacidad. Esto se hizo para obtener las áreas que están siendo sobreutilizadas, lo que hace que éstas sean áreas susceptibles a sufrir erosión potencial. El uso de la tierra para 1979 y 1992 fue tomado del “Atlas del Cambio de Cobertura de la Tierra en Costa Rica 1979 – 1992” elaborado por IMN et al, en 1996. También se utilizaron las imágenes de satélite de Google Earth correspondientes al 2004 y 2006 (figura 1.2). Posteriormente, los usos de la tierra se representaron cartográficamente en el Capítulo V, atendiendo a una subdivisión en ocho tipos de cobertura (cuadro 1.2).

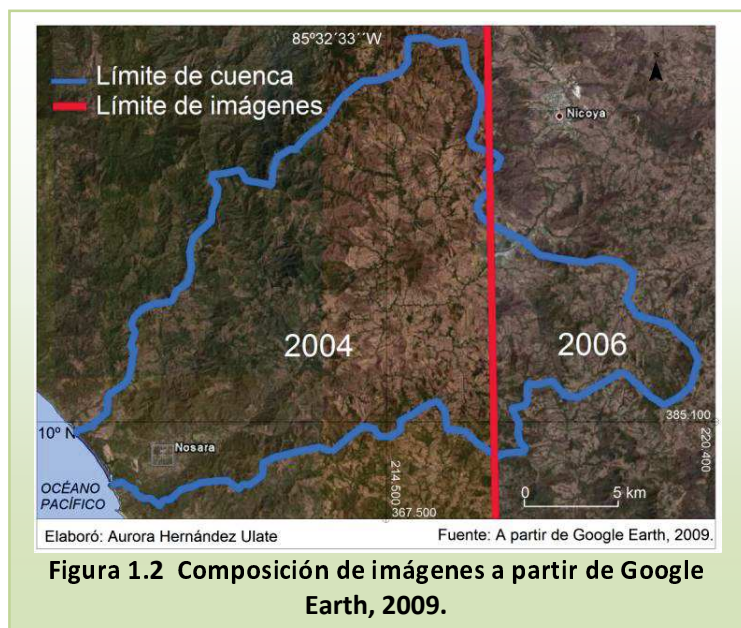


Figura 1.2 Composición de imágenes a partir de Google Earth, 2009.

A esta información se le adicionaron, las entrevistas en las oficinas de Ministerio de Agricultura y Ganadería (MAG) en Nicoya y Hojancha, con el fin de obtener la información y sobre el uso de prácticas de manejo de los cultivos, la ganadería y las prácticas forestales y de conservación que tienen lugar en la cuenca. Además, fue importante considerar si ellos incentivan la implementación de prácticas de conservación de suelos y bosques y si es así, en qué áreas de la cuenca lo hacen.

Cuadro 1.3 Categorías para la clasificación de uso de la tierra

Categoría	Definición de la categoría de uso
Uso urbano	Núcleos urbanos y crecimientos urbanos lineales junto a las principales vías de comunicación. Presentan arreglo geométrico.
Cultivos estacionales	Cultivos con un ciclo vegetativo que dura un año o menos y solo producen una cosecha en ese período.
Cultivos permanentes	Cultivos con un ciclo vegetativo permanente.
Pastos	Pastos sin cobertura arbórea o muy escasa, definida esta última como una cobertura menor al 10% del área.
Bosque natural	Cobertura vegetal de especies con tallo o tronco leñoso.
Bosque natural intervenido	Áreas con las mismas características del bosque natural, pero con espacios abiertos con usos agropecuarios.
Bosque secundario	Cobertura vegetal producto de la regeneración natural, se incluyen los pastos con árboles dispersos y pasto con bosque.
Charral/tacotal	Áreas iniciando su proceso de regeneración natural.
Plantación forestal	Plantaciones de melina y teca.
Barras - playas	Formaciones angostas en la costa o en el margen del río.

Fuente: Modificado de IMN et al, 1996.

También se realizaron entrevistas no estructuradas a los representantes de cuatro Asociaciones Administradoras de Acueductos Rurales (ASADAS) (anexo 4) correspondientes a las comunidades de Pilangosta, Gamalotal, Belén y Nosara y a tres Comités de Agua ubicados en Caimitalito, Virginia y Santa Marta de Nosara. Estas siete organizaciones representan la mitad (15 en total) de las organizaciones encargadas del manejo y distribución del recurso hídrico en la cuenca y las entrevistas se realizaron con el propósito de conocer la percepción de estas organizaciones sobre el ambiente y problemas en la cuenca hidrográfica del río Nosara.

Fase 5. Modelo cualitativo de la dinámica erosión/sedimentación (MES) para el área de estudio. El MES se diseñó para determinar las áreas que presentan erosión 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 1.4). Este modelo se diseñó considerando como ejemplo la metodología CORINE

para la determinación del riesgo actual y potencial de erosión desarrollada por la Comisión Europea de Medio Ambiente (1992). De esta metodología se tomaron los valores para algunas de las categorías aplicadas en la modelización cualitativa de las capas temáticas. La diferencia principal entre ambas aplicaciones, es que el MES incorpora en el cálculo las áreas de sedimentación.

Cuadro 1.4 Variables para determinar las áreas de erosión y las áreas susceptibles a la sedimentación en la cuenca hidrográfica del río Nosara

Tipo de variable dentro del MES	Característica	Tipo de variable	Predicción a partir de la combinación de las variables
Dependiente	Características del terreno	Textura del suelo	Áreas que potencialmente pueden presentar erosión o sedimentación.
	Morfología del terreno	Profundidad (cm)	
	Clima	Geomorfología Pendiente en grados Precipitación	
Independiente	Características de uso de la tierra	Clasificación por tipo de uso	Áreas que presentan erosión o sedimentación.

Fuente: Elaboración propia.

Las rocas no fueron seleccionadas como una variable específica adicional, sino que se incluyen como parte de otras variables como la geomorfología, las texturas de los suelos y la pendiente. 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 y la porosidad.

Los mapas temáticos que se usaron en el Modelo MES se elaboraron en los sistemas de información geográfica Map Info y Arc View. Para las sobreposiciones se definieron categorías para cada variable de forma que al ser combinadas se sumen. El resultado finalmente indicará cuales áreas son susceptibles a la erosión o a la sedimentación. Las variables y las categorías se explican a continuación:

Textura. La textura se relaciona directamente con la posibilidad del suelo de ser erosionado por la escorrentía y su capacidad para absorber la precipitación, pues las fracciones finas de un suelo determinan que en condiciones de humedad sea plástico y adhesivo. También la permeabilidad del suelo depende del tamaño del poro y este a su vez depende de la textura

del suelo, así entre más permeable es el suelo más gruesa es su textura (Stadtmüller, 1994). Esta es una variable fundamental, 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 1.5).

Cuadro 1.5 Clasificación de la textura

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

Fuente: Modificada de Comisión Europea de Medio Ambiente, 1992.

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, siempre y cuando este sea permeable, lo que 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 (cuadro 1.6).

Cuadro 1.6 Clasificación de la profundidad

SIG	Rangos de profundidad	
2	Poco erodable	Mayor de 90 cm
	De ligeramente a moderadamente erodable	Entre 30 y 90 cm
	Altamente erodable	Menor de 30 cm

Fuente: Elaborado a partir de las observaciones en la cuenca hidrográfica del río Nosara.

Precipitación. La precipitación como un índice se determina calculando el índice de Fournier modificado, en el cual la precipitación total del mes i corresponde al mes con más precipitación durante año y luego se clasifican los resultados (cuadro 1.7):

$$F_i = \frac{\sum_{i=1}^{12} \frac{P_i^2}{P}}{P} \quad \text{Donde } \frac{P_i^2}{P} \quad \begin{array}{l} \text{Es la precipitación total en el mes } i \\ \text{Es la precipitación media anual (suma de todas las} \\ \text{medias mensuales)} \end{array}$$

Fuente: Comisión Europea de Medio Ambiente, 1992.

Cuadro 1.7 Clases asociadas a los valores de FI

Clase SIG	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: Modificado de Comisión Europea de Medio Ambiente, 1992.

Geomorfología. Se incorporan las geoformas identificadas durante el proceso de elaboración del mapa geomorfológico de la cuenca hidrográfica del río Nosara, subdivididas en tres clases (cuadro 1.8):

Cuadro 1.8 Clases asociadas a la geomorfología

Clase SIG	Valor cualitativo de la clase	Formas
0	Predominio de la depositación	Llanuras, terrazas, meseta, depresión tectónicas
1	Erosión moderada por la poca longitud e inclinación de sus pendientes y 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

Fuente: Elaboración propia a partir de las observaciones de campo y el mapa de geomorfología de la cuenca hidrográfica del río Nosara.

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 en todas direcciones, mientras que en superficies inclinadas el desplazamiento es mayor hacia abajo de la pendiente que hacia arriba (Stadtmüller, 1994), lo cual favorece el transporte hidráulico (figura 1.3).



La pendiente determina la orientación de las partículas arrancadas por el agua y la capacidad de arrastre, dada por la velocidad a la que puede viajar la escorrentía superficial en superficies muy inclinadas o en caso contrario, la pendiente refleja aquellas áreas que son propensas a la acumulación de sedimentos (cuadro 1.9).

Cuadro 1.9 Clases asociadas a rangos de pendientes

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

Fuente: Elaboración a partir de las observaciones de campo y Comisión Europea de Medio Ambiente, 1992.

Uso de la tierra. Esta variable se refiere al tipo de protección que brinda el uso de la tierra como cobertura de los suelos (cuadro 1.10).

Cuadro 1.10 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. Este tipo de cobertura permite que la energía cinética de las gotas de agua precipitada sea amortiguada por los distintos estratos que conforman el bosque, lo que favorece que la erosión laminar se mantenga controlada o en equilibrio. Según Stadtmüller (1994), el bosque es una cobertura efectiva contra la erosión.
1	Cobertura de uso adecuado	Acorde con la capacidad de uso de la tierra
2	Cobertura de uso inadecuada	En conflicto con la capacidad de uso de la tierra: que rebasa la capacidad de uso que fue determinada para un sitio dado

Fuente: Elaboración propia a partir de las observaciones de campo en la cuenca hidrográfica del río Nosara.

Los datos obtenidos en cada una de las coberturas temáticas que representan una variable se convierten a formato en raster y se combinan en el SIG, para obtener los valores de combinación finales (cuadro 1.11).

Cuadro 1.11 Clasificación MES dentro del procesamiento en el SIG

Textura suelo	Profundidad suelo	FI	Pendiente	Uso de la tierra	Geomorfología			
						Clase cuantitativa para el SIG	cualitativa	Simbología
0	0	0	0	0	0	0 a 3	Predominio de la sedimentación	1
1	1	1	1	1	1	4 a 5	Baja erosión hídrica y formación de depósitos	2
2	2	2	2	2	2	6 a 7	Moderada erosión hídrica	3
		3	3			8 a 10	Alta erosión hídrica	4
		4				11 a 15	Intensa erosión hídrica	5

Fuente: Elaboración propia.

Fase 6. Discusión, conclusiones y recomendaciones

En el apartado de discusión se exploraron las relaciones resultantes de la geomorfología, los cambios de uso de la tierra, las inundaciones en la sección media y baja de la cuenca y las avulsiones en la cuenca baja. Posteriormente, se procedió a la extracción de conclusiones orientadas a presentar los principales resultados del mapa geomorfológico de la cuenca hidrográfica del río Nosara, de los usos de la tierra, de la aplicación del modelo erosión/sedimentación (MES), de las variaciones espaciales morfológicas ocurridas en la sección baja de la cuenca, de las inundaciones y de las implicaciones que estos cambios pueden tener para el ambiente y para las comunidades de la sección baja de esta cuenca hidrográfica.

A su vez hay tres aspectos que se asociaron al desarrollo de las recomendaciones, estos son: a) las inundaciones en la cuenca media y baja; b) los usos de la tierra que deben ser controlados por las instituciones competentes; y c) la educación ambiental, la investigación y la transferencia de información entre instituciones y de estas a las comunidades es un aspecto necesario para la comprensión del ambiente y una gestión integral de la cuenca hidrográfica del río Nosara.

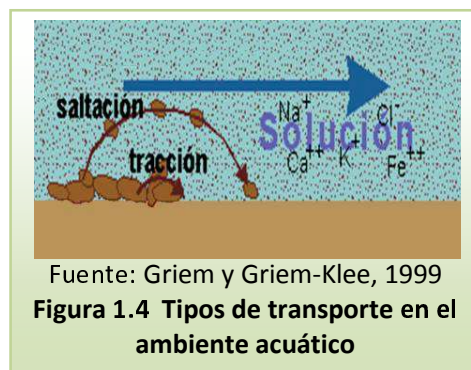
1.4 Marco Conceptual

La geomorfología es una ciencia que estudia las formas de la superficie de la Tierra, con el propósito de describirlas y explicarlas (Fairbridge, 1968). Esto lo hace mediante la descripción, la reconstrucción y la explicación de los procesos y etapas de formación, la determinación de los materiales y su edad de formación. Sagredo (1974) definió geomorfología como el estudio las formas superficiales del planeta y consideró que si el trabajo es descriptivo su resultado recibe el nombre de estudio de la morfología. Si la investigación además de la morfología realiza un orden sistemático e investiga el origen y desarrollo de las formas del relieve, entonces se denomina morfogénesis.

La morfodinámica se refiere a los cambios o evolución que pueden presentar las formas por procesos denudacionales, el cual es originado por el arranque y acarreo de las partículas por varios procesos erosivos y su complemento es la depositación y ambos representan las fases exogénicas fundamentales (Fairbridge, 1968). Los procesos denudacionales se pueden acrecentar por la degradación del suelo y la roca ocurrida como consecuencia de los usos de la tierra o por cambios climáticos que aceleren la erosión.

La erosión es un conjunto de fenómenos externos de la corteza terrestre denominados exógenos, los cuales contribuyen a modificar las formas originadas por los fenómenos endógenos, es decir, por el tectonismo y el volcanismo (Sagredo, 1974). La erosión incluye el desgaste, la abrasión y la remoción por la acción de agentes dinámicos, los cuales son: a) climáticos, como la lluvia, el viento, la nieve y el hielo; b) biológicos, provocados por animales y plantas; y c) los antrópicos (Sagredo, 1974). En los trópicos, los principales agentes erosivos son la gravedad, el viento, la acción del oleaje y las corrientes marinas y el agua. Con respecto al agua, ésta separa las partículas del suelo (Cubero, 1994) y remueve la materia vegetal y la transporta mediante la escorrentía superficial, la cual conduce los sedimentos hacia las áreas de depositación. El proceso de erosión hídrica consta de tres fases:

- ✿ **Desprendimiento:** la precipitación tiene un impacto sobre el suelo, las rocas y la materia vegetal que ocasiona su desprendimiento, dando lugar a que se inicie la tracción por el agua de estos materiales.
- ✿ **Transporte:** los materiales que fueron desprendidos de la superficie son puestos en movimiento por la escorrentía superficial (figura 1.4), lo cual da lugar a la saltación de las partículas medianas, a la suspensión de partículas pequeñas mediante la flotación, a la tracción o rodamiento de partículas grandes y a la solución de los iones, tales como Na^+ , Cl^- , K^+ , Fe^{++} , Ca^{++} (Fairbridge, 1968; Griem y Griem-Klee, 1999 y Palma, 2006). En áreas de suelos degradados o impactados por actividades productivas o sísmicas, el agua puede desencadenar el movimiento de los materiales (Griem y Griem-Klee, 1999).



- ✿ **Sedimentación:** es la acumulación de los materiales que fueron alterados y transportados y se produce cuando disminuye la velocidad de los agentes de transporte. Los sedimentos tienen características como el tamaño de la partícula, su forma, su esfericidad y selección que ayudan a inferir cuánto transporte ha recibido el material antes de ser depositado (anexo 4).

La depositación de materiales ocurre en los medios sedimentarios, los cuales pueden ser continentales, de transición o marinos. Estos medios son depresiones de la superficie terrestre caracterizadas por procesos físicos, químicos y biológicos definidos. En los medios sedimentarios de transición (deltas, playas, estuarios, dunas, barras y marismas), los sedimentos al llegar a las costas son acumulados o son sometidos a otros medios de transporte propios de los litorales, tales como el oleaje, las corrientes marinas, las mareas y el viento.

De manera, que el paisaje litoral está integrado por formas que corresponden a procesos de erosión y sedimentación (figura 1.5), las cuales están en función del equilibrio que se establezca entre el aporte de sedimento y los agentes dispersivos del medio marino. Entre estas formas se pueden señalar las siguientes:

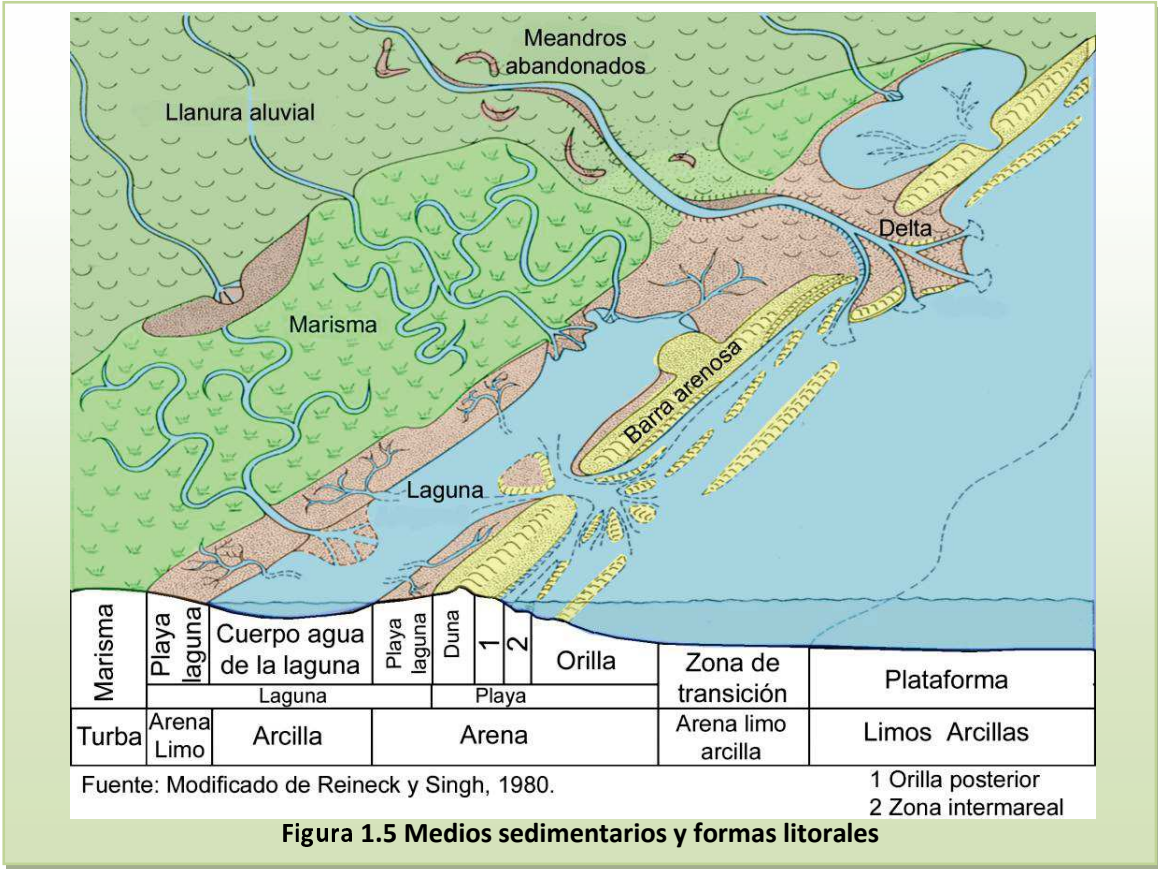
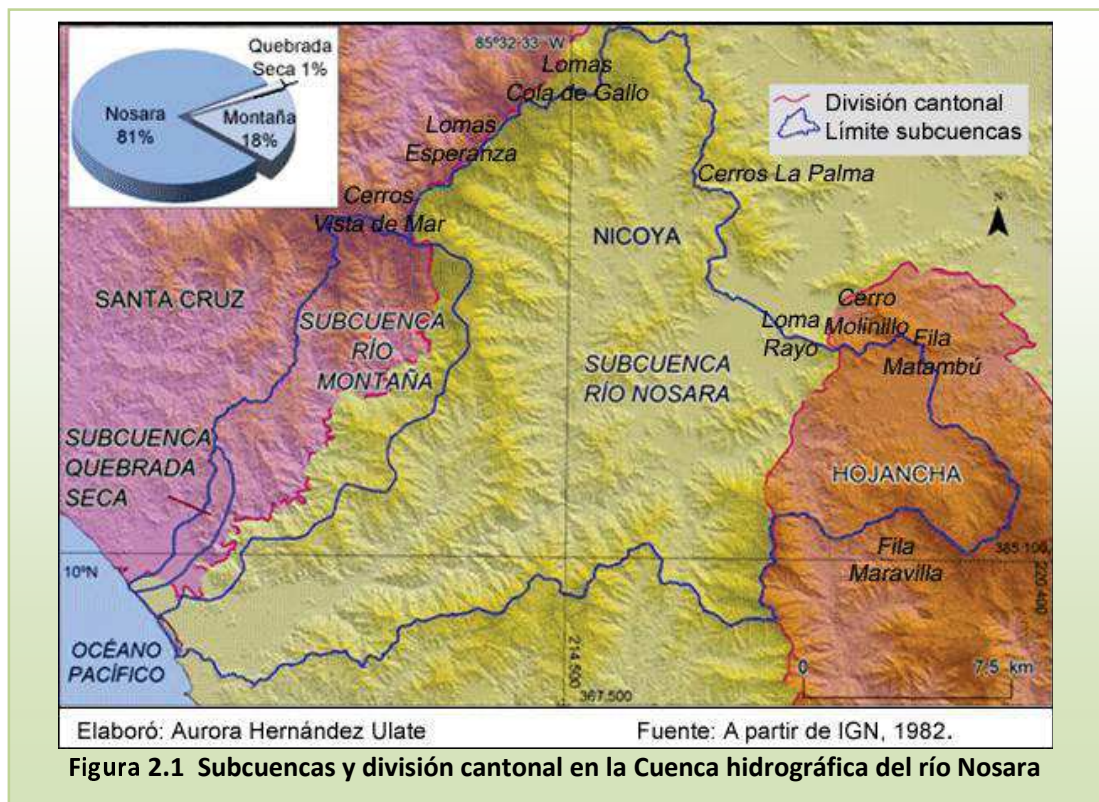


Figura 1.5 Medios sedimentarios y formas litorales

CAPÍTULO II

Características geográficas de la cuenca hidrográfica del río Nosara

La cuenca hidrográfica del río Nosara se ubica en la Península de Nicoya entre las coordenadas $9^{\circ} 57' 07''$ y $10^{\circ} 10' 56''$ de latitud norte y de $85^{\circ} 42' 02''$ y $85^{\circ} 23' 09''$ longitud oeste, cubriendo un área de 418,8 kilómetros cuadrados y sus aguas desembocan en el Océano Pacífico. Tiene un perímetro de 125,6 kilómetros y está delimitada al norte por las Lomas Cola de Gallo, Lomas Esperanza y Cerros Vista de Mar, al noreste por la Lomas Rayo y Molinillo y la Fila Matambú y al sureste por Fila Maravilla, principalmente. Político administrativamente, esta cuenca pertenece a los municipios de Nicoya, Santa Cruz y Hojancha, en la provincia de Guanacaste (figura 2.1).



El río Nosara, es el curso principal del sistema hidrográfico del mismo nombre y se une en la parte baja de la cuenca hidrográfica a los ríos Montaña y Quebrada Seca, constituyendo los tres una sola unidad hidrográfica que drena un área de 418,8 km², de los cuales 338 corresponden al río Nosara, 75,23 al río Montaña y 5,75 al Quebrada Seca. Es importante señalar que estos ríos presentan trazados que indican la influencia estructural en el desarrollo y la orientación de sus cauces.

Los cursos poseen una longitud de unos 36,2 km en el río Nosara, 31 km en el río Montaña y 8,3 km en el río Quebrada Seca y se unen mediante canales en la sección baja de la cuenca, que los enlazan a 174 metros antes de desembocar en el Océano Pacífico (figura 2.2). Estos canales se componen de dos lechos principales, uno de 1,54 km que une al Quebrada Seca con el río Montaña en la Laguna División y otro denominado Estero Escondido de 1,46 km de longitud que une a este último con el Nosara.

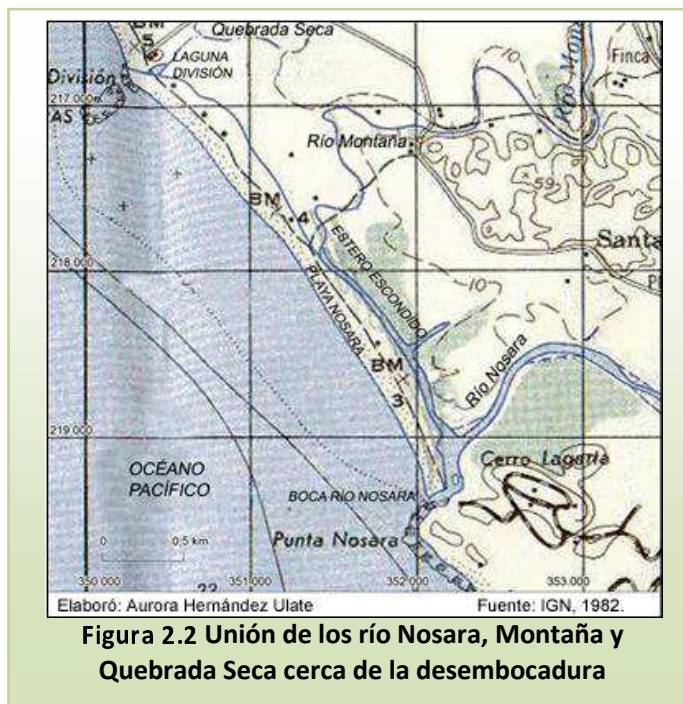


Figura 2.2 Unión de los ríos Nosara, Montaña y Quebrada Seca cerca de la desembocadura

No existen registros detallados de los caudales de los tres ríos principales de la cuenca hidrográfica del río Nosara, solamente el que lleva el mismo nombre ha sido aforado en varios períodos en secciones distintas, según el Servicio Nacional de Aguas Subterráneas Riego y Avenamiento (SENARA) (figura 2.3). Aunque los datos son para distintos períodos y secciones, permiten apreciar que marzo corresponde al mes con los caudales más bajos. En el caso de la sección aforada en Cuesta Buenos Aires, los datos muestran un período de seis meses con caudales que no superan los 60 litros por segundo. De julio a noviembre el mismo sector muestra un aumento, registrándose los caudales máximos en octubre, que como se verá más adelante, coincide con el mes de más casos de inundación registrados en la cuenca.

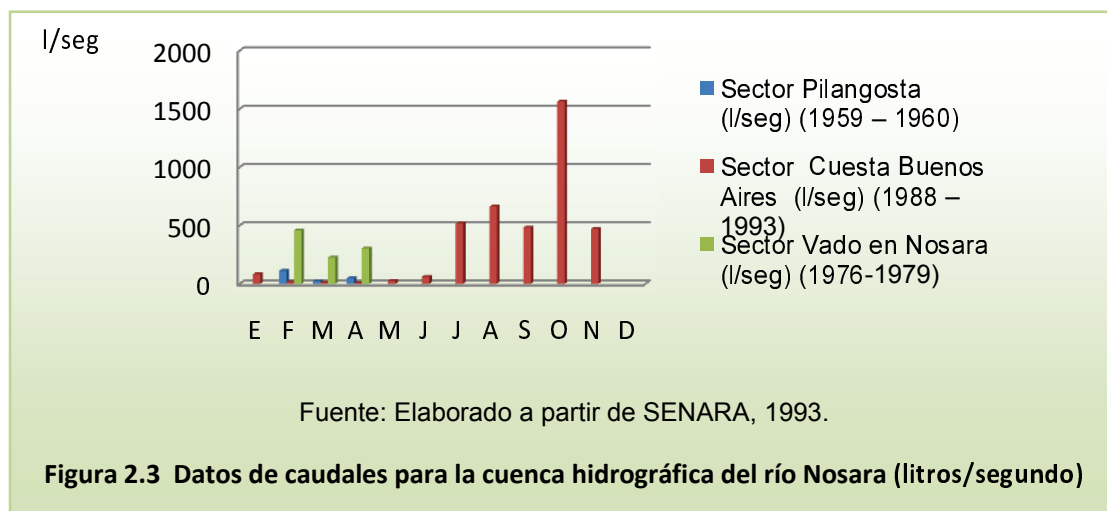


Figura 2.3 Datos de caudales para la cuenca hidrográfica del río Nosara (litros/segundo)

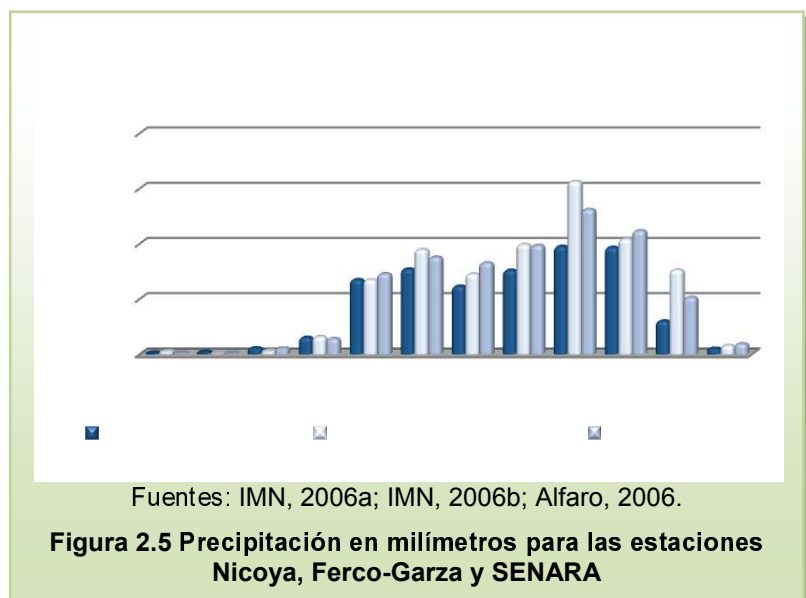
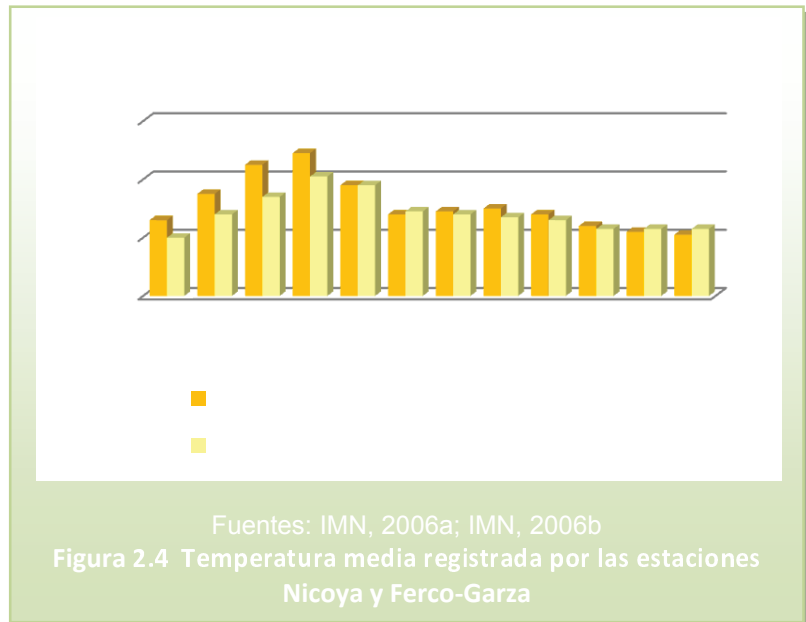
2.1 Clima en la cuenca hidrográfica del río Nosara

Climáticamente, la zona correspondiente a la cuenca hidrográfica del río Nosara es monitoreada por tres estaciones: a) la Estación Nicoya, que está ubicada a 10°09' de latitud norte y 85°27' longitud oeste; b) la Estación FERCO Garza, ubicada a 09°55' latitud norte y 85°37' longitud oeste y c) la Estación Nosara ubicada a 09°58' latitud norte y 85°40' longitud oeste (IMN, 2006a y 2006b).

Los datos de temperatura de las Estaciones Nicoya y FERCO (figura 2.4) permiten apreciar que ocurren pocas variaciones térmicas durante el año. Las máximas temperaturas tienen lugar de marzo y abril. En ninguna de las estaciones la máxima temperatura es inferior a los 30°C y las temperaturas mínimas que se registran en diciembre y enero no son menores a los 19° C (IMN, 2006a; IMN, 2006b).

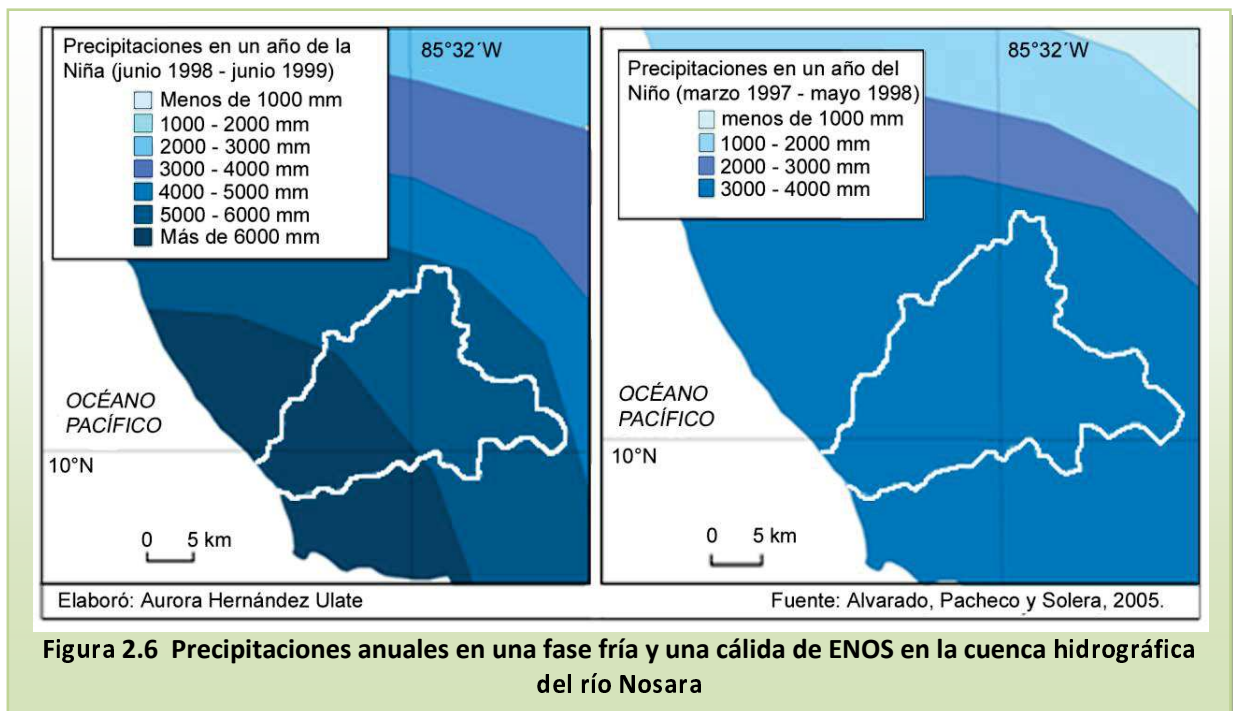
En cuanto a la precipitación, los datos permiten distinguir claramente el período seco, el cual ocurre entre diciembre y abril. Los meses entre diciembre y marzo son meses ecológicamente secos, pues la precipitación es menor a 50 mm (Vargas, 2006). La

Estación Nicoya reporta al mes de enero como el más seco con 4,4 mm, mientras que las estaciones FERCO Garza y Nosara apuntan esta condición para febrero, con 2,6 y 3,4 mm respectivamente (IMNa. 2006; IMNb. 2006) (figura 2.5).



En las tres estaciones, el mes de septiembre fue reportado como el mes más lluvioso. Las estaciones costeras de FERCO Garza y Nosara tienen una condición de mayor precipitación que la Estación Nicoya desde junio a diciembre (IMNa, 2006; IMNb, 2006; Alfaro, 2006). Esta diferencia está relacionada con dos aspectos, el primero, la cercanía de las dos primeras al Océano Pacífico, lo que repercute en un aumento de la humedad en el ambiente y el segundo, en que las serranías bajas afectan la entrada de los vientos provenientes del Océano Pacífico hacia Nicoya.

Retana y Solano (2000) realizaron una investigación sobre la relación del fenómeno de El Niño Oscilación del Sur (ENOS) en sus fases fría (La Niña) y cálida (El Niño). Determinaron que durante la fase fría se producen excesos de precipitación en la Región Chorotega (figuras 2.6), lo que ocasiona una tendencia general a una acumulación de lluvia al final del año, produciendo que se rebase el promedio hasta en 4000 mm. El exceso ocurre principalmente en los meses de septiembre y octubre y produce una alta incidencia de inundaciones.



También Retana y Solano (2000) determinaron que el 71% de los desbordamientos de los ríos ocurrieron en el año de la "Niña" y que en la fase cálida hay una disminución de hasta 2 000 mm en promedio de precipitación anual. Evidenciaron que el exceso de precipitación se presenta desde agosto hasta noviembre, que las inundaciones ocurren durante el segundo semestre del año y que el 50% de ellas tienen lugar en el mes de octubre (figura 2.7).

Adicionalmente, la Estación Nicoya tiene un 54% de probabilidad de presentar un escenario lluvioso en el año frío, que puede concentrarse en los meses más lluviosos ocasionando un exceso de precipitación (Retana y Solano, 2000). En el período entre 1950 y 1999 las comunidades de la cuenca hidrográfica del Nosara que han sido afectadas por estos excesos de lluvia, manifestados como inundaciones, son Nosara, Cuajiniquil y Pilas (Retana y Solano, 2000).

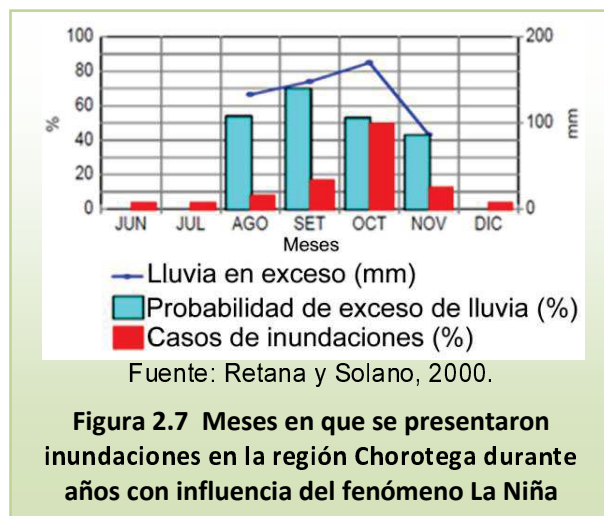


Figura 2.7 Meses en que se presentaron inundaciones en la región Chorotega durante años con influencia del fenómeno La Niña

Las comunidades en zonas con riesgo de las inundaciones se encuentran en las depresiones tectónicas de la cuenca hidrográfica, por lo tanto, son zonas donde se produce una variación abrupta de la pendiente, la cual pasa de más de 30° a menos de 5°. Adicionalmente en la cuenca media estos excesos se producen sobre basaltos, los cuales son poco permeables, en la cuenca baja los materiales permiten una mayor infiltración (Alfaro, 2006: 27) (figura 2.8).

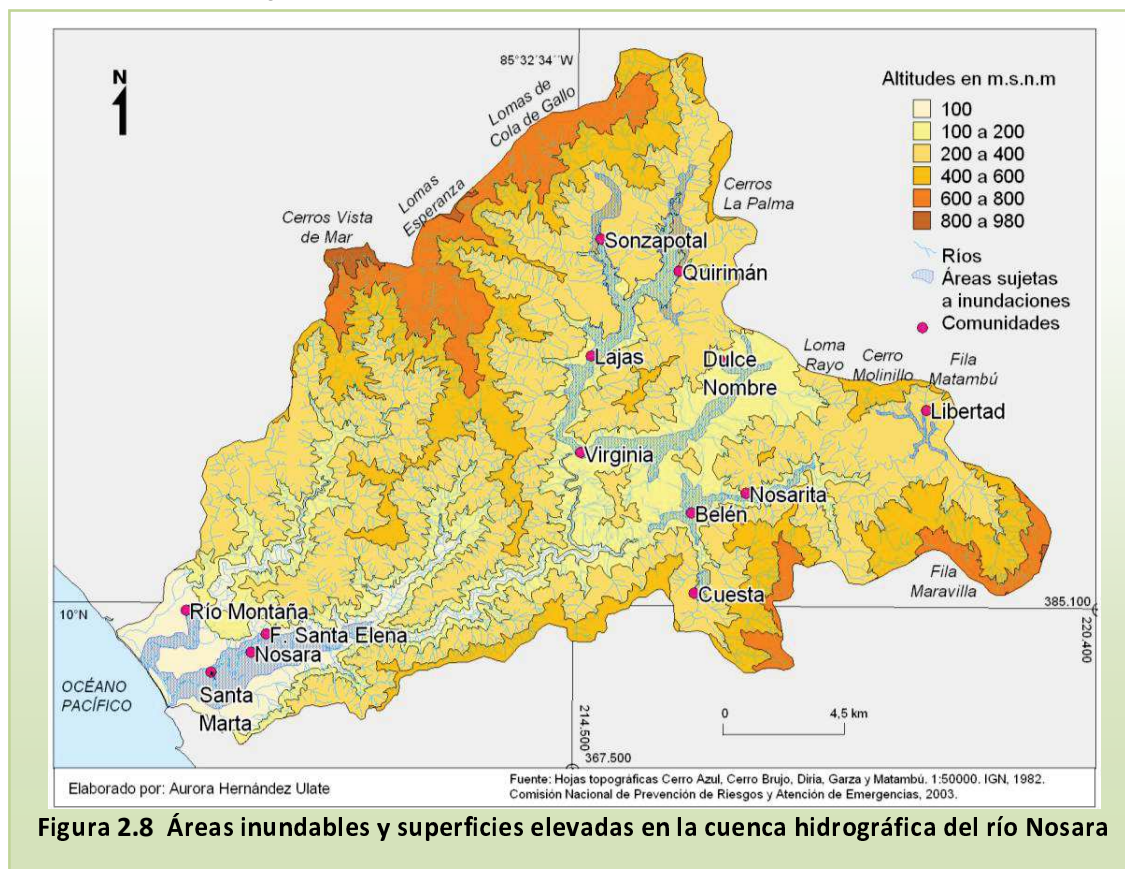


Figura 2.8 Áreas inundables y superficies elevadas en la cuenca hidrográfica del río Nosara

Según la información disponible en la Comisión Nacional de Prevención de Riesgos y Atención de Emergencias (CNE), son 10 las comunidades que presentan riesgo de inundación o avalancha en la cuenca hidrográfica del río Nosara (cuadro 2.1). Las áreas susceptibles a las inundaciones abarcan 28 km², lo que representa un 6,7% de la extensión total de la cuenca y afectan 17,3 km² de la cuenca media y 10,7 km² en la sección baja. En su mayoría corresponden a sectores ubicados en la subcuenca hidrográfica del río Nosara, solo una sección pequeña (1,7 km²) en la parte afecta a la subcuenca del río Montaña.

Cuadro 2.1 Comunidades y desbordamientos en la cuenca hidrográfica del río Nosara

Ríos desbordados	Comunidades afectadas	Población por distrito (proyecciones 7/ 2009)
	Hojancha	4 338
	Belén de Nosara	2 421
Nosara y Montaña	Santa Marta, Nosara, Juntas	3 587
Quirimán	Quirimán, Virginia	24 382
Quebrada Cuajiniquil	Cuajiniquil	
Río Zapote	Pilas	
Gamolotal	Gamolotal, Virginia	

Fuente: Retana y Solano, 2000 y CNE, 2003 e INEC, 2009.

Con relación a estos fenómenos es importante señalar cuál es la permeabilidad de los materiales sobre los que ocurren estas inundaciones. Los materiales del Complejo de Nicoya (66%) han sido considerado “rocas no acuíferas, sin porosidad primaria y donde la circulación y almacenamiento de agua sucede en zonas meteorizadas y fracturadas con porosidad secundaria” (SENARA, 2003: 22), mientras que en el Supergrupo Garza (17,5%) el nivel freático responde de inmediato a los aportes de la precipitación (Alfaro, 2006). Esto hace suponer que una parte importante del agua precipitada es incorporada al suelo, lo cual tiene un impacto en la escorrentía superficial.

2.2 Suelos

En la cuenca hidrográfica del río Nosara se pueden distinguir dos tipos de suelos, los alfisoles, que ocupan el 76% del área y los inceptisoles que abarcan el 24% (figura 2.9). Los alfisoles son suelos relativamente viejos y de coloración rojiza y poseen un horizonte de acumulación de arcilla. Se observaron en las partes altas de las Filas Esperanza y Maravilla y Cerro Negro. La coloración de estos suelos se debe principalmente al grado de hidratación del hierro el cual, en su forma oxidada, confiere tonalidades pardo rojizas o rojizas en las partes cóncavas del relieve (MAG, 2010).

Los inceptisoles es posible observarlos en las colinas de las Filas Picudas y Cuajiniquil y en las depresiones tectónicas Caimital y Nosara. Su origen proviene del efecto de meteorización que sufren los sedimentos aluviales, coluviales y coluvioaluviales depositados cuando permanecen sin recibir nuevos aportes por un cierto período de tiempo (MAG, 2010).

Adicionalmente, en la cuenca es posible identificar texturas arcillosas, arcillo arenosas, franco arcillo arenosas, franco arcillo limosas y limosas (2.10).

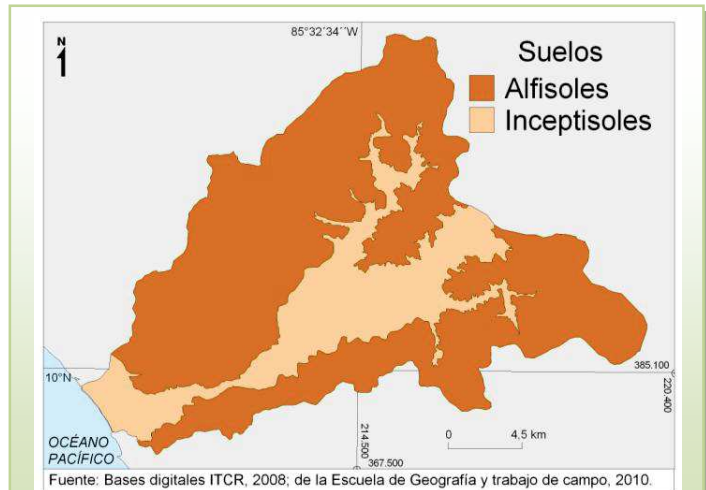


Figura 2.9 Suelos en la cuenca hidrográfica del río Nosara

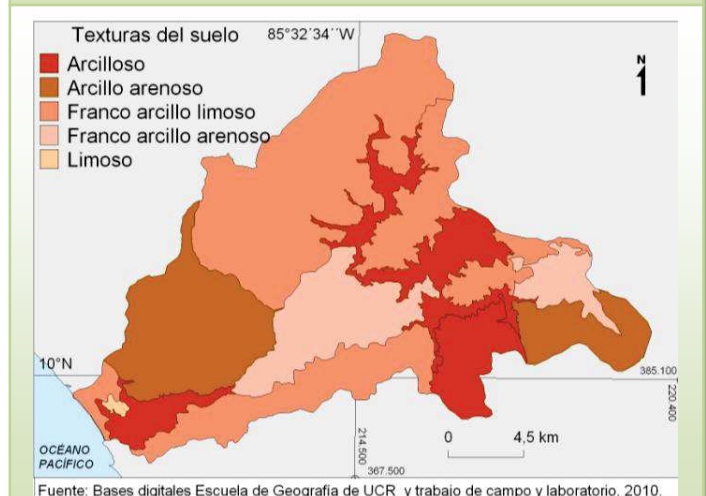
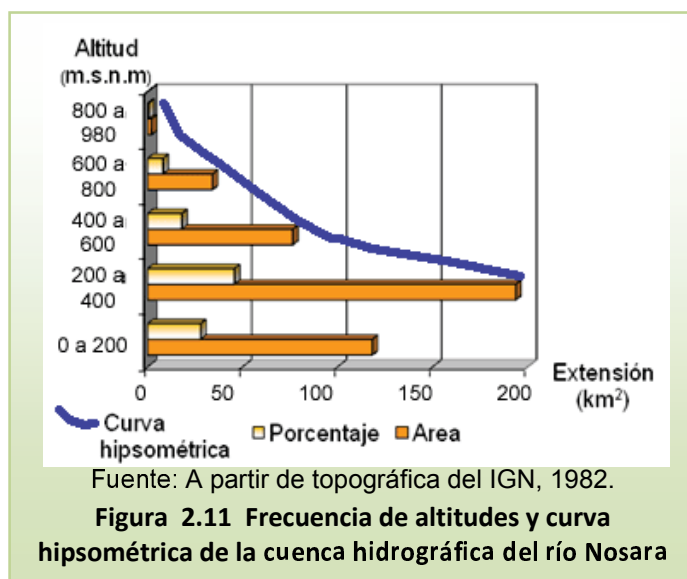


Figura 2.10 Textura de los suelos en la cuenca hidrográfica del río Nosara

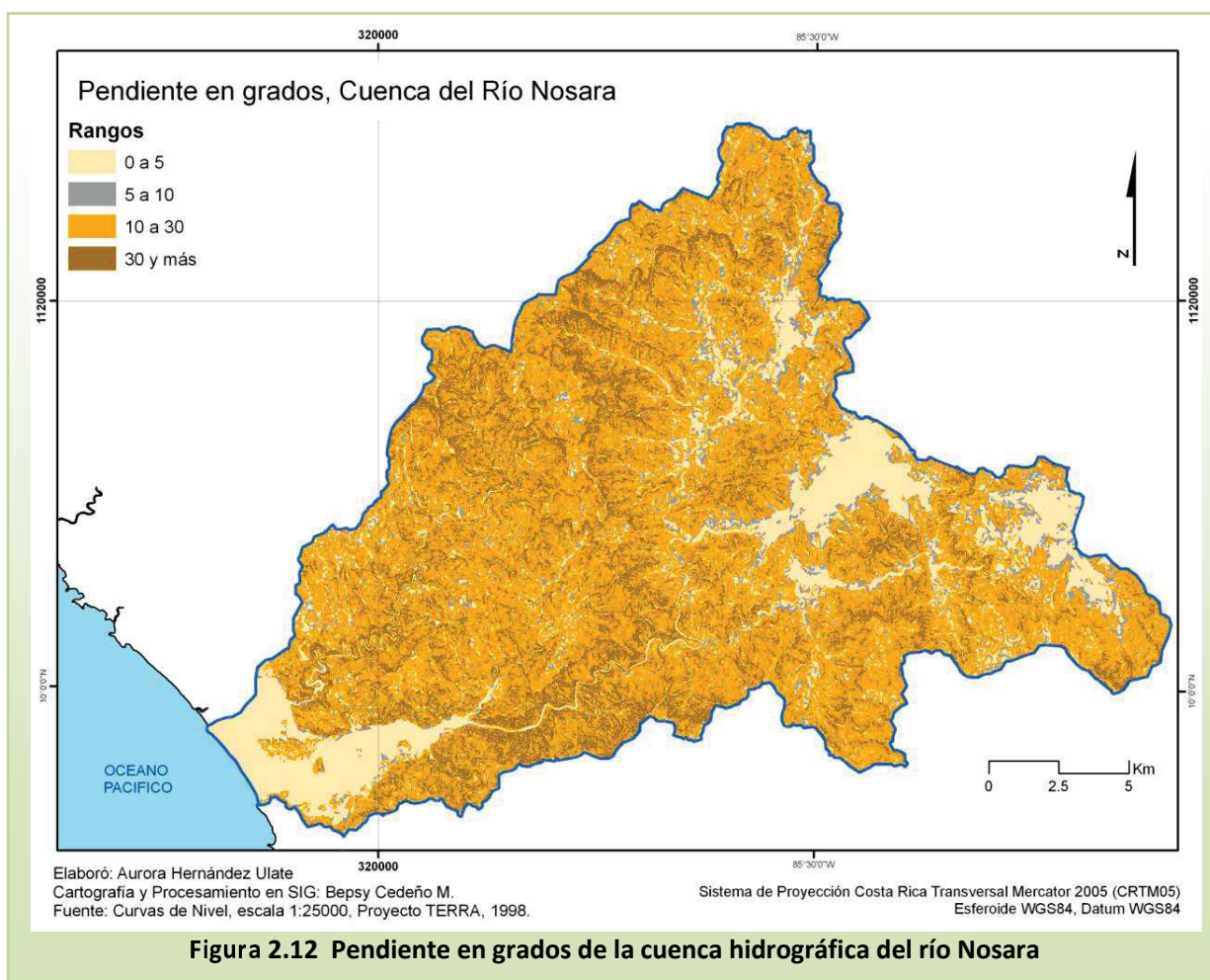
2.3 Cuenca alta, media y baja

En la cuenca hidrográfica del río Nosara las altitudes varían entre los 0 m hasta más de 980 m.s.n.m en los Cerros Vista de Mar en su límite noroeste y los 883 m.s.n.m. en la Fila Maravilla al sureste. El resto de la divisoria de aguas no posee altitudes considerables, la

mayoría se encuentran entre los 400 a los 600 m.s.n.m. En esta cuenca las altitudes más frecuentes oscilan entre los 200 y 400 m.s.n.m. y la altura media aproximada es de 460 m.s.n.m. Según sus altitudes y su representación en una curva hipsométrica (figura 2.11) se puede dividir este sistema hídrico en tres sectores bien definidos que corresponden a:



- La cuenca alta comprende desde los 930 hasta los 400 m.s.n.m, abarca 110,2 km², es decir, el 26,3% de área y las pendientes sobrepasan los 30° (figura 2.12).



- ✿ La cuenca media que se desarrolla a partir de los 400 hasta los 200 m.s.n.m; abarca 272,6 km², lo que representa el 65% de la superficie total y las pendientes de esta sección oscilan entre los 10° y los 30°.
- ✿ La cuenca baja abarca desde los 200 m.s.n.m. hasta el nivel del mar. Ocupa un área de 36 km², lo que equivale al 8,58% del área total. Posee pendientes menores a los 5° y dada su posición dentro de la cuenca hidrográfica en estas zonas predomina la sedimentación. Se observa en la llanura aluvial la divagación del cauce del río Nosara y en menor medida del río Montaña.

Para concluir la descripción de los aspectos geográficos de la cuenca hidrográfica del río Nosara, se pueden precisar los siguientes aspectos:

- ✿ Se puede inferir, a través de una comparación entre el mapa de pendientes y altitudes, que la sección alta de la cuenca está marcada por cambios en el declive del terreno, lo que provoca una variación en la energía con que pueda transitar por las pendientes la escorrentía superficial. Estas variaciones de la pendiente y los materiales, pueden constituirse en elementos importantes para explicar el fenómeno de las inundaciones.
- ✿ En la cuenca del Nosara, el borde norte la divisoria de aguas prácticamente desaparece, atendiéndose para su delimitación un punto medio entre las redes de drenaje de esta y la red de drenaje del río Potrero que fluye hacia otra vertiente. Esto es una consecuencia de la presencia de las fallas presentes que han modelado estructuralmente la zona.
- ✿ Las intensidades de las precipitaciones que recibe la cuenca varían en función de tres elementos: la cercanía con el mar, la estacionalidad marcada por el período seco y lluvioso y los cambios que produce el Fenómeno de ENOS. Si se relaciona esta condición con la geografía física de la cuenca, se puede llegar a la conclusión de que hay una concentración de agua fluvial y pluvial en un área donde se conjugan:
 - a) un relieve caracterizado por la pérdida abrupta de altitud e inclinación por razones estructurales y las pendientes y su orientación favorecen el encauzamiento rápido de la escorrentía superficial hacia dos puntos de concentración de la escorrentía en la sección media y otro en la sección baja;
 - b) la poca permeabilidad de los basaltos en la sección media y alta de la cuenca, la cual se une a la poca permeabilidad de los suelos en la parte alta de la cuenca y

c) la cuenca es afectada por los eventos máximos de precipitación durante la fase fría de ENOS y la dimensión de los cauces ordinarios es desbordada por la cantidad de agua que es encauzada en los meses más lluviosos.

Estas condiciones naturales se conjugan para propiciar el desbordamiento de los ríos Quirimán y Gamalotal, en la cuenca media y Nosara en la cuenca baja. Además, no solo ayudan a explicar por qué ocurren estas inundaciones, sino también permiten comprenderlas como fenómenos naturales y recurrentes. Por lo tanto, la disminución de la amenaza y la gestión de las afectaciones que estas produzcan deben reorientarse hacia interpretar las áreas que ocupa el río Nosara durante sus desbordamientos como áreas que son parte del lecho en estos eventos extremos, lo cual implicaría potencialmente la localización de algunas viviendas en áreas de menor riesgo.

CAPÍTULO III

Geomorfología de la cuenca hidrográfica del río Nosara

La interpretación geomorfológica tiene como objetivo explicar el origen y evolución de las formas que se aprecian en el relieve de un área determinada. En el caso de la cuenca hidrográfica del río Nosara, los aspectos relacionados con el relieve, la geología y la hidrografía (cuadro 3.1) se utilizaron para definir las unidades geomorfológicas, que fueron representadas cartográficamente.

Cuadro 3.1 Aspectos para la interpretación de las unidades geomorfológicas de la Cuenca hidrográfica del río Nosara

Aspectos	Relieve	Constitución geológica	Hidrografía
Elementos clave para la explicación	Forma	Origen y edad	Génesis
	Ruptura	Materiales	Patrón
	Pendiente	Evolución	Densidad
	Altitud	Procesos modeladores endógenos y exógenos	Forma de los valles

Fuente: Elaboración propia.

3.1 Constitución geológica de la Cuenca hidrográfica del río Nosara

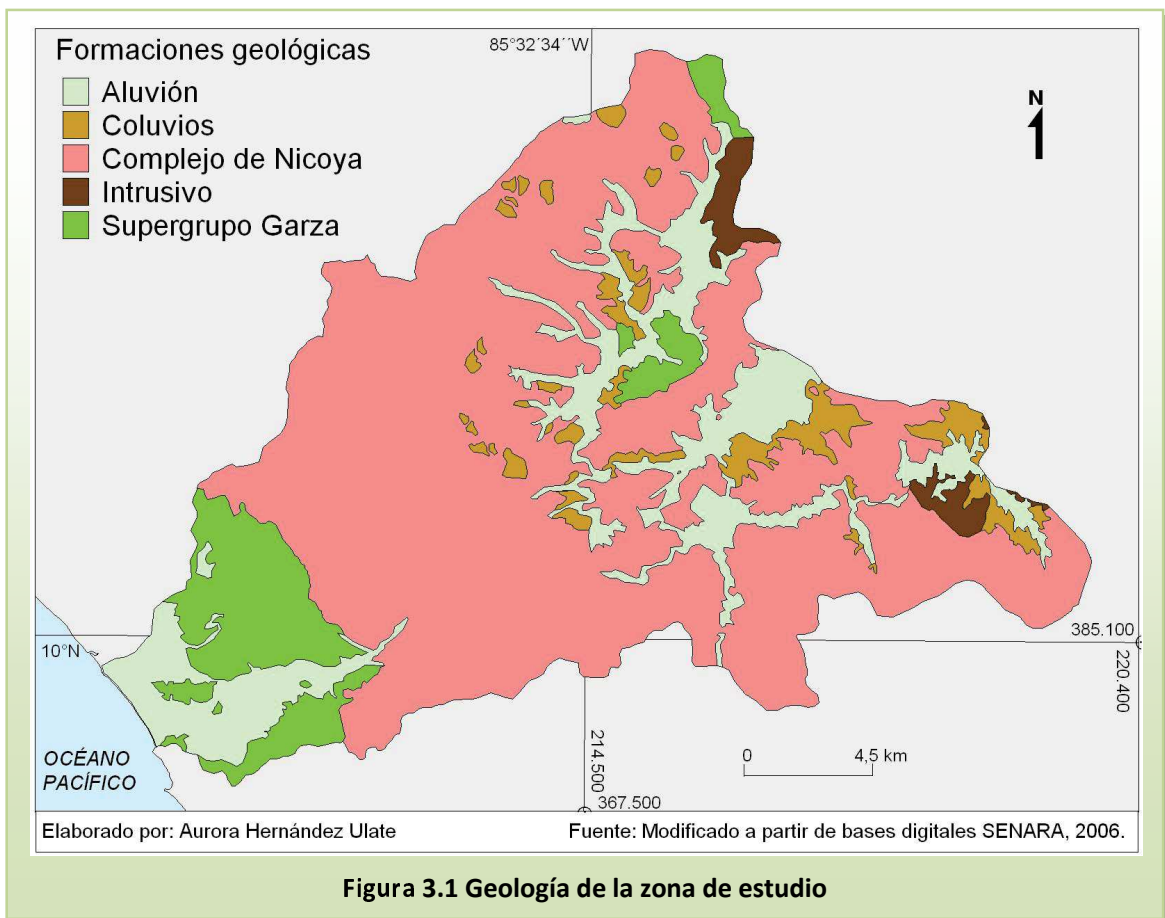
Las primeras descripciones geológicas para la zona de la Península de Nicoya se realizaron hace más de un siglo por Sapper (1905). Posteriormente, la investigación de la geología de esta región fue ampliada y sus resultados explican que la Península de Nicoya durante su proceso de génesis estuvo expuesta a la deformación tectónica desde el Cretácico Superior hasta finales del Mioceno, la cual fue seguida por una nueva fase tectónica durante el Plioceno y el Cuaternario, que terminó por hacer emerger toda la región noroeste del país. Durante las épocas de calma tectónica se depositaron formaciones sedimentarias de origen marino y en menor proporción de origen continental (Romanes, 1912; Mac Donald, 1920; Dengo, 1962; Kuijpers, 1979; Baumgartner et al, 1984 y Astorga et al, 1989).

La geología regional de la zona de estudio corresponde con la Cuenca Sámara – Cabo Blanco (Astorga, 1987), que es parte del Segmento Norte de Arco de Costa Rica. Específicamente en la cuenca hidrográfica del río Nosara están expuestas rocas pertenecientes al Complejo de Nicoya (Dengo, 1962), las cuales conforman el basamento

sobre el que se depositó una sección de rocas sedimentarias de edad Cretácico Superior a Oligoceno (Baumgartner et al. 1984). En la zona de estudio es posible identificar una secuencia de siete formaciones geológicas que han sido descritas en su mayoría por Baumgartner et al (1984) y Astorga (1987) (cuadro 3.2).

Cuadro 3.2 Formaciones geológicas descritas para la zona de estudio

Edad probable	Formaciones descritas por Baumgartner et al, en 1984	Formaciones descritas por
Oligoceno Superior	Formación Punta Pelada (definida por Sprechmann et al en 1994).	
Eoceno Medio Paleoceno Superior a	Caliza Silícea Buenavista	Ario
Paleoceno Superior Maastrichtiano Superior a		
Maastrichtiano Campaniano Superior a		
Campaniano Temprano		
Maastrichtiano Campaniano a		
Pre Campaniano		



El Supergrupo Garza está dividido en dos grupos, a saber: Sabana Grande y Sámara. En la zona de estudio solo se encuentra el correspondiente a las Lutitas-Radiolaritas Sabana Grande, la cual está compuesta por “sedimentitas pelágicas, con tobas intercaladas, depositadas en las zonas batial y abisal a partir del Campaniense” (Sprechmann, 1984: 275). Astorga (1987) señaló que Sabana Grande está compuesta litológicamente por lutitas calcáreas, lutitas silíceas y areniscas finas calcáreas, correspondientes en edad al Campaniano - Maastrichtiano Medio/Superior.

El Supergrupo Garza es sobreyacido de forma discordante por areniscas y calcarenitas someras de la Unidad Areniscas y Calcarenitas Punta Pelada, la cual posee secuencias que tienen espesores de unos 200 metros y fue datada de edad Oligoceno Superior (Baumgartner, et al. 1984). Esta unidad fue cartografiada por Dengo (1962), el cual reconoció en ella una secuencia de 225 metros de areniscas, calcarenitas y calcilutitas. Posteriormente, Ávila (1980) identificó una unidad arrecifal compuesta por calcarenitas con macroforaminíferos en posición discordante sobre el Supergrupo Garza. Astorga (1987)

señaló que está constituida por calizas con macroforaminíferos y arenitas carbonatadas que conforman barras arenosas carbonatadas. A partir de aquí se ha identificado un hiato entre el Eoceno y el Oligoceno Superior.

El Supergrupo Garza es sobreyacido localmente por una unidad de depósitos superficiales cuaternarios de origen aluvial, los cuales están principalmente compuestos por guijas redondeadas. Estas miden aproximadamente 1 cm y han sido depositadas principalmente por la acción fluvial en la llanura aluvial, al pie de las pendientes y a lo largo las áreas de sedimentación en los meandros y en la barra que se encuentra en la desembocadura.

3.2 Unidades geomorfológicas en la cuenca hidrográfica del río Nosara

Las fallas y los lineamientos geológicos permiten explicar la forma de la cuenca hidrográfica y las filas montañosas, las colinas y las redes de drenaje principales, se encuentran alineadas siguiendo sus orientaciones. Con base en el análisis del modelo de sombras del relieve, de documentos y fotos aéreas se han identificado tres sistemas de lineamientos principales, definidos por su orientación (cuadro 3.3):

Cuadro 3.3 Sistemas de lineamientos estructurales en la cuenca hidrográfica del río Nosara

Sistema	Orientaciones aproximada	Ejemplos
1	Lineamientos orientados en dirección N40°E – S 40° W	L1, L2, L4, L5, L8, L9 y L10
2	Lineamientos orientados en dirección E – W	L3, L6 y L7
3	Lineamientos orientados en dirección N30°W – S 40°E	L11, L12, L13, L14, L15, L16, L7

Fuente: Elaboración propia.

En la siguiente figura (3.2) es interesante notar como la forma de la cuenca hidrográfica del río Nosara se relaciona con los lineamientos L6, L7, L5 y L11.

En la cuenca hidrográfica del río Nosara se han identificado 10 unidades geomorfológicas (UG), de ellas la que abarca más extensión en la cuenca es la que corresponde a los terrenos de colinas muy ondulados a montañas con casi el 40%, mientras las que poseen las áreas menores son las conformadas por los lechos fluviales y la barra arenosa (figura 3.3 y 3.4). Morfológicamente, la cuenca hidrográfica del río Nosara presenta montañas que no superan los 930 m, que es la altitud máxima en la cuenca alcanzada en el Cerro Esperanza.

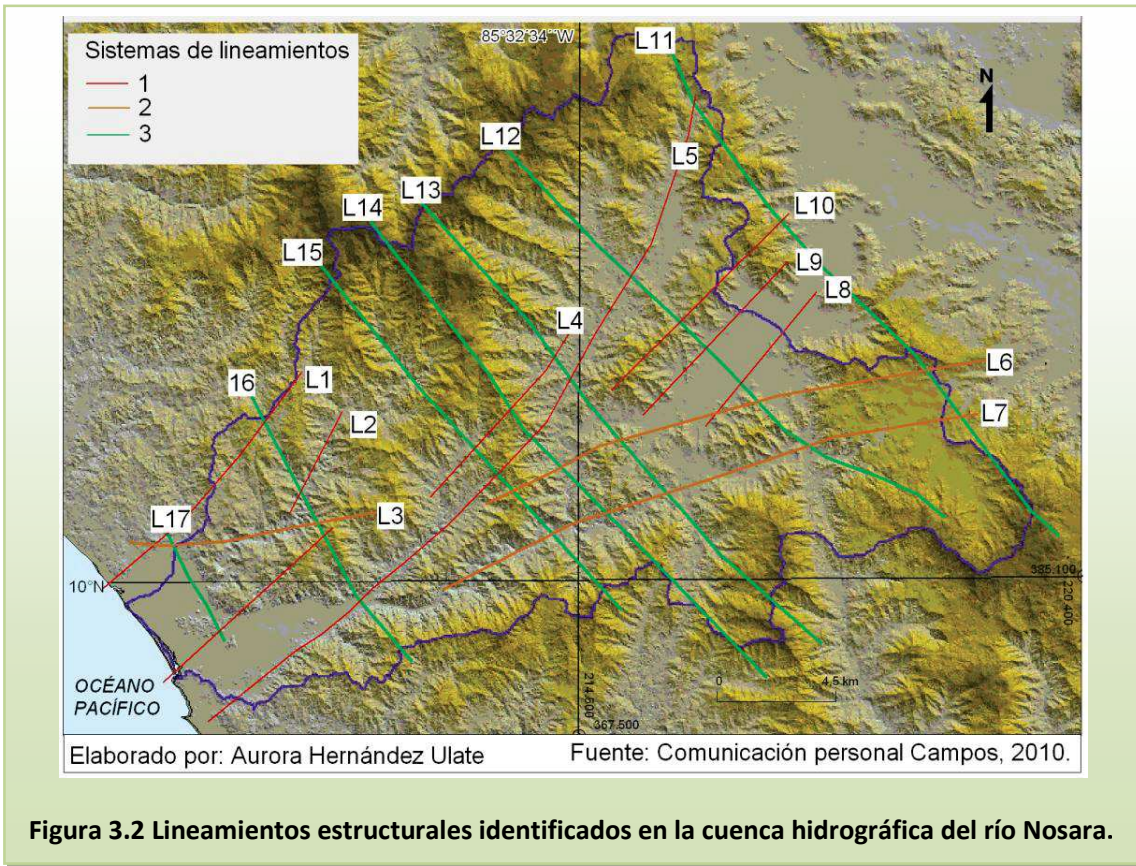
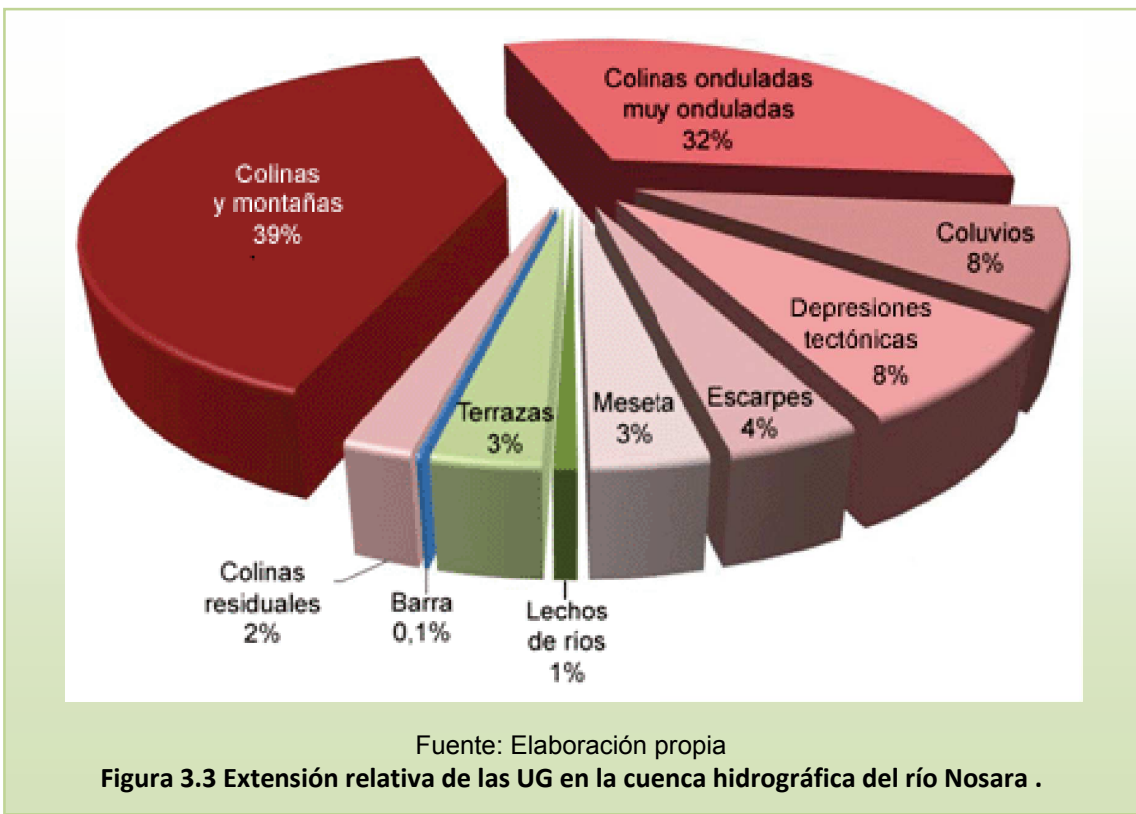


Figura 3.2 Lineamientos estructurales identificados en la cuenca hidrográfica del río Nosara.



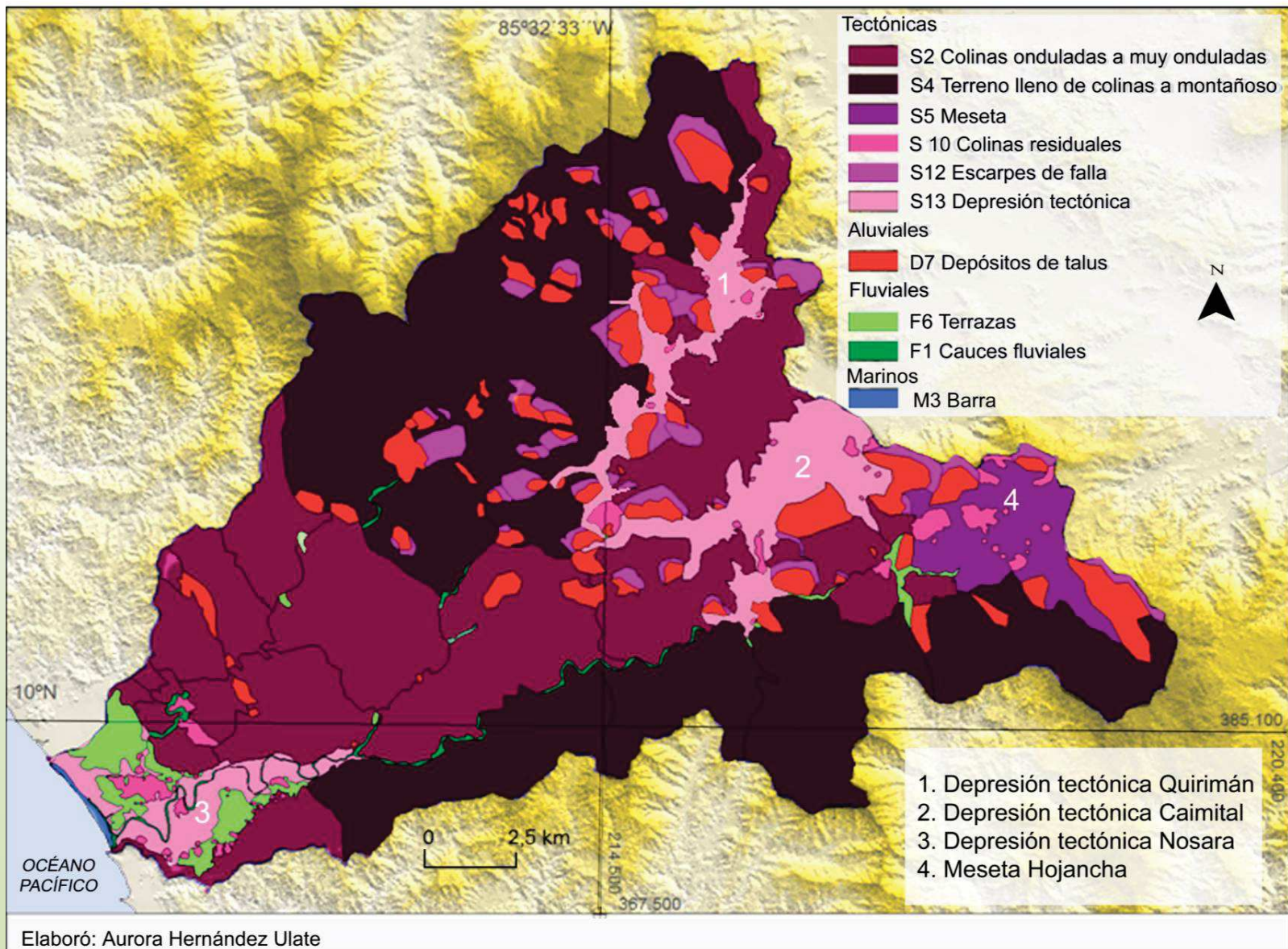


Figura 3.4 Unidades geomorfológicas en la cuenca hidrográfica del río Nosara.

A continuación aparecen detalladas cada uno de estas unidades geomorfológicas, siguiendo el orden de clasificación:

Colinas onduladas a muy onduladas (S2) y escarpes de falla (S12)

Las colinas presentan poseen formas redondeadas y las laderas más cortas que las que se aprecian en el relieve de las montañas y rodean valles que aparecen, como se observa en el perfil A (figura 3.5), como depresiones cóncavas o en V, cuya formación está asociada a la presencia de lineamientos geológicos y los procesos de erosión fluvial.

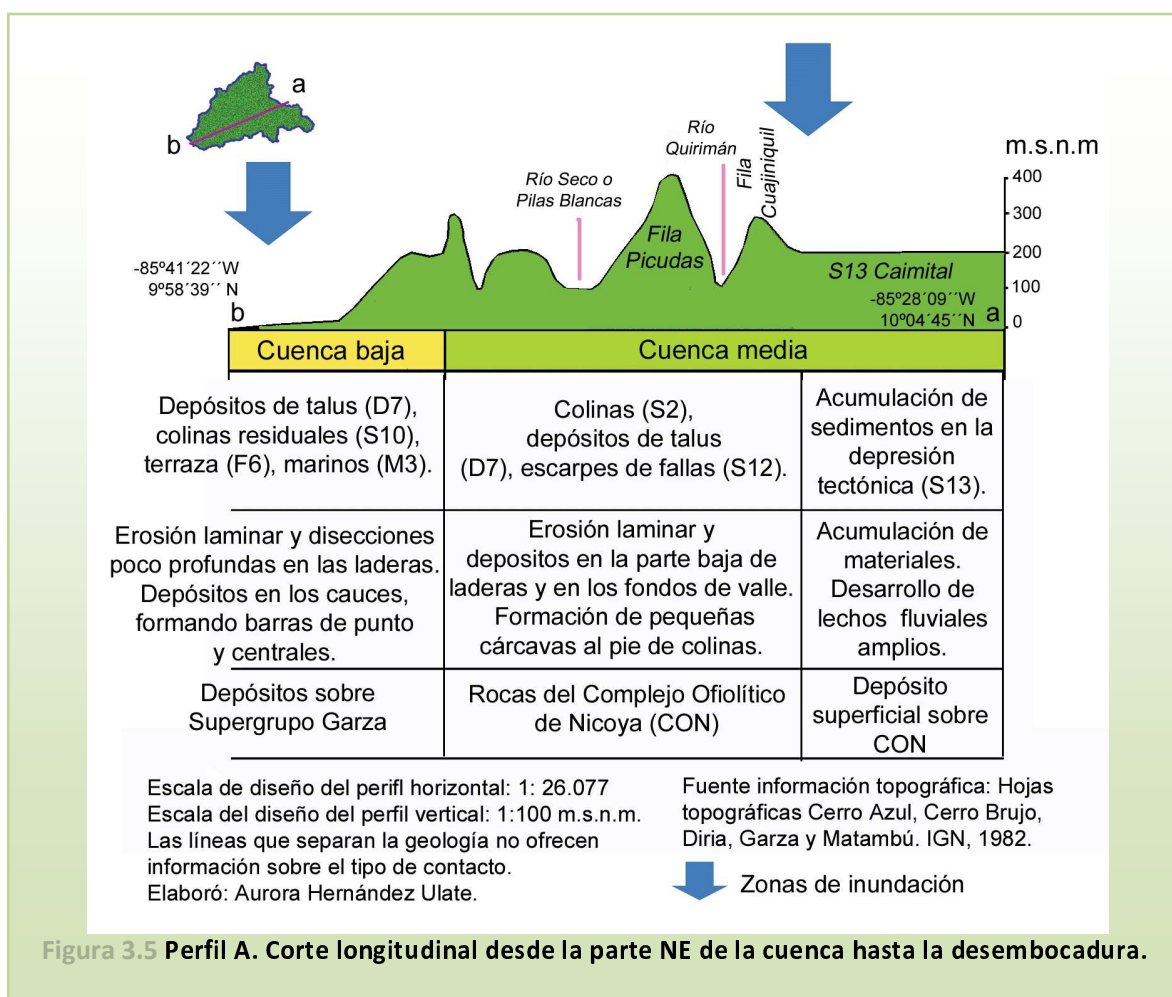
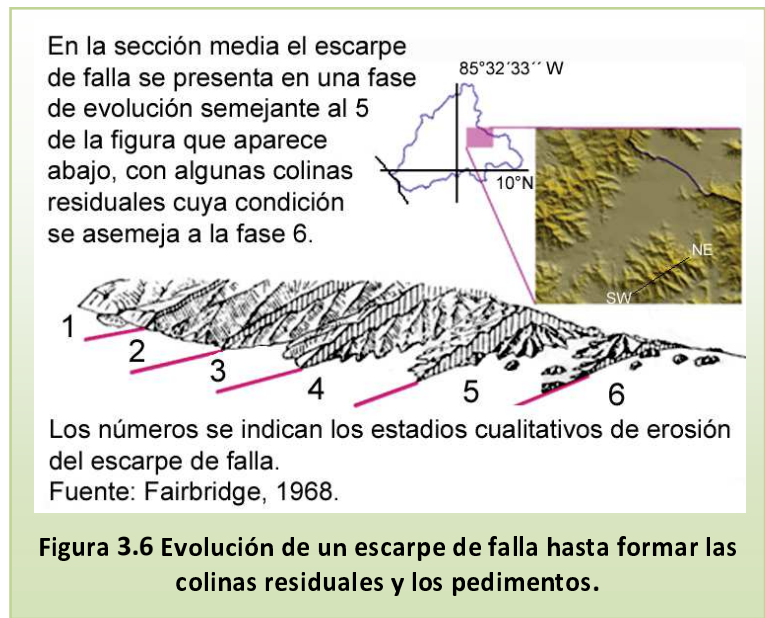


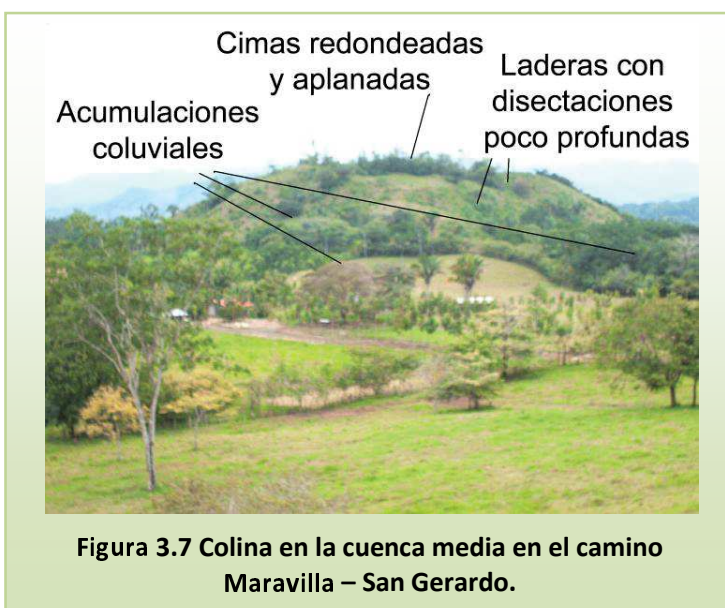
Figura 3.5 Perfil A. Corte longitudinal desde la parte NE de la cuenca hasta la desembocadura.

En la cuenca media, los ríos Gamalotal, Quirimán y Nosara, dado el relieve relativamente plano por el que cursan en las depresiones tectónicas, se desbordan durante la época lluviosa. En la sección baja, también se producen los desbordamientos del río Nosara y Montaña.

En las colinas es posible identificar las evidencias de una morfogénesis estructural, en las cuales las laderas posiblemente formaron parte de los escarpes de falla que rodearon a la depresiones tectónicas Caimital y Quirimán y que hoy se encuentran desgastados por los agentes erosivos, produciendo una evolución de sus formas: desde el escarpe de falla, con sus bordes triangulares y los ríos perpendiculares a su dirección, a las colinas residuales y los pedimentos, es decir, acumulaciones aluviales de sedimentos en la pendiente de las colinas. En la figura 3.6 se representan estos cambios en los escarpes de falla clasificados en seis fases de evolución y en el recuadro aparece un escarpe en la sección media de la cuenca hidrográfica del río Nosara, que corresponde a una clasificación en el estadio 5-6.



Las colinas se caracterizan por no superar la altitud de los 440 m.s.n.m y presentan cimas redondeadas casi planas en su parte más alta, que descienden con laderas cortas y poco disectadas en forma rectilínea y perpendicular a su base (figura 3.7). Este tipo de disectaciones en las laderas de estas colinas se presume asociado a: a) la escasa elevación



que poseen, que solo permite el desarrollo de laderas de poca longitud y escasa pendiente (no sobrepasan los 30°), lo cual regula la velocidad de la escorrentía superficial agua ladera abajo y b) a las condiciones climáticas propias de un período seco de seis meses, las cuales restringen el potencial modelador del agua a un período relativamente corto al año.

Terrenos llenos de colinas a montañoso (S4)

En la cuenca alta dominan las filas montañosas, las cuales sirven de divisorias de aguas para la cuenca hidrográfica en la sección noreste y noroeste, estas últimas se ejemplifican en el perfil B con el Cerro Cola de Gallo (figura 3.8). Estas filas se caracterizan por poseer pendientes pronunciadas, las cuales no superan en promedio los 30°, sin embargo en algunas secciones de las laderas de estas montañas pueden llegar a los 77° de pendiente.

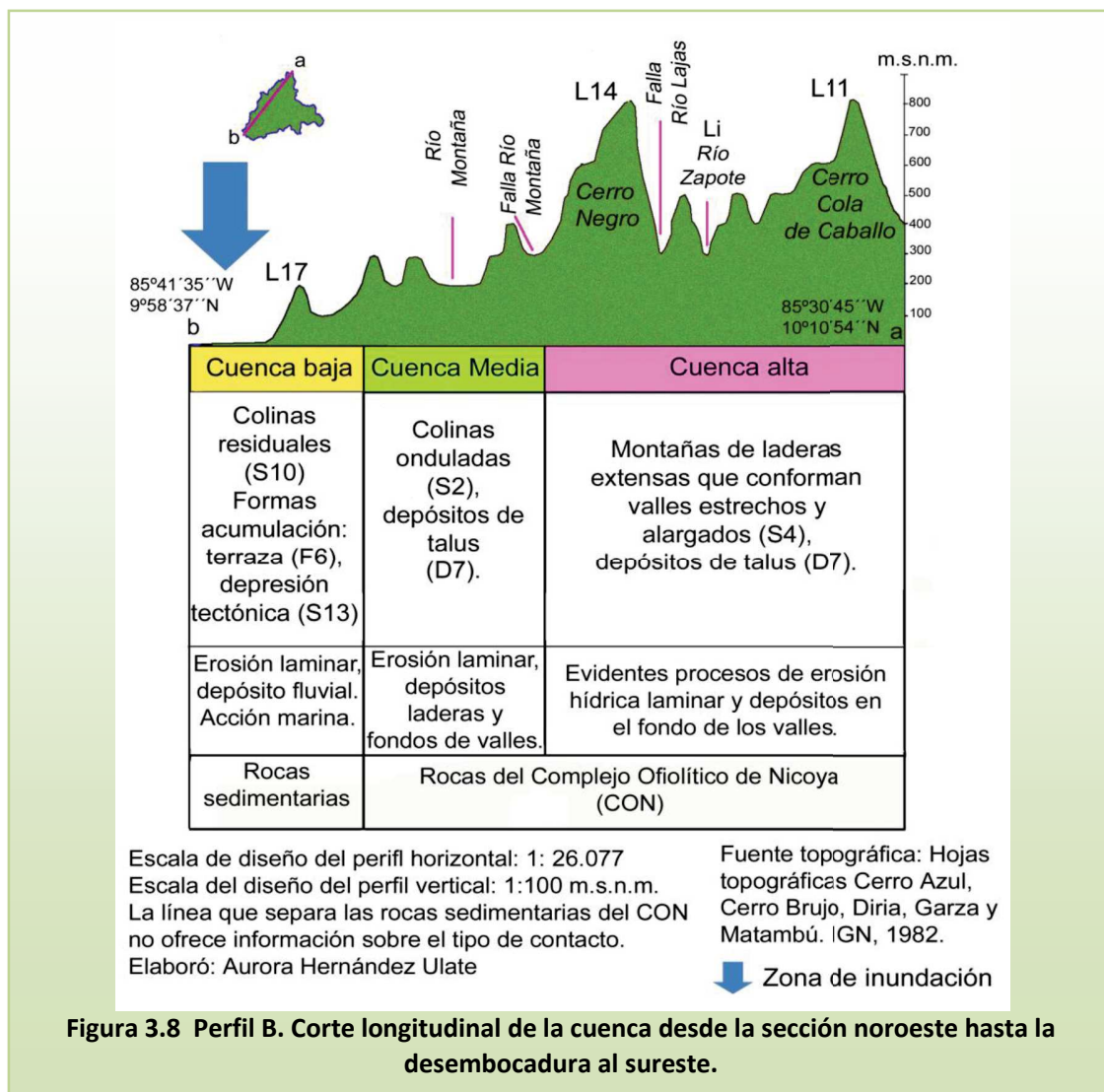


Figura 3.8 Perfil B. Corte longitudinal de la cuenca desde la sección noroeste hasta la desembocadura al sureste.

Las laderas de estas montañas poseen valles en “V”, los cuales son los más profundos y alargados en la cuenca. Dos de ellos, los valles de los ríos Lajas y Zapote alcanzan los 7 km y 5,5 km de longitud, respectivamente, mientras que en las áreas de laderas cortas, en las colinas (S2), los valles no superan los 700 m de longitud. Un ejemplo de estos son los valles en los cerros Ortiga, Chepeñas y Brujo.

Meseta estructural (S5)

La meseta estructural se ubica en el noreste de la cuenca, en el lugar donde se encuentra asentada la Ciudad de Hojanca y otras comunidades como San Gerardo y Pilangosta. Se infiere que su posible origen se encuentra asociado a la depresión tectónica Caimital y a los episodios de levantamientos que ha sufrido la zona. En el perfil C (figura 3.9) es posible apreciar dos niveles en la meseta, uno a partir de los 200 hasta los 300 m.s.n.m. y otra desde los 300 a los 400 m.s.n.m. Estos niveles coinciden con uno de los lineamientos que se han identificado y sus bordes pueden ser escarpes de falla relacionados con el origen de la depresión tectónica.

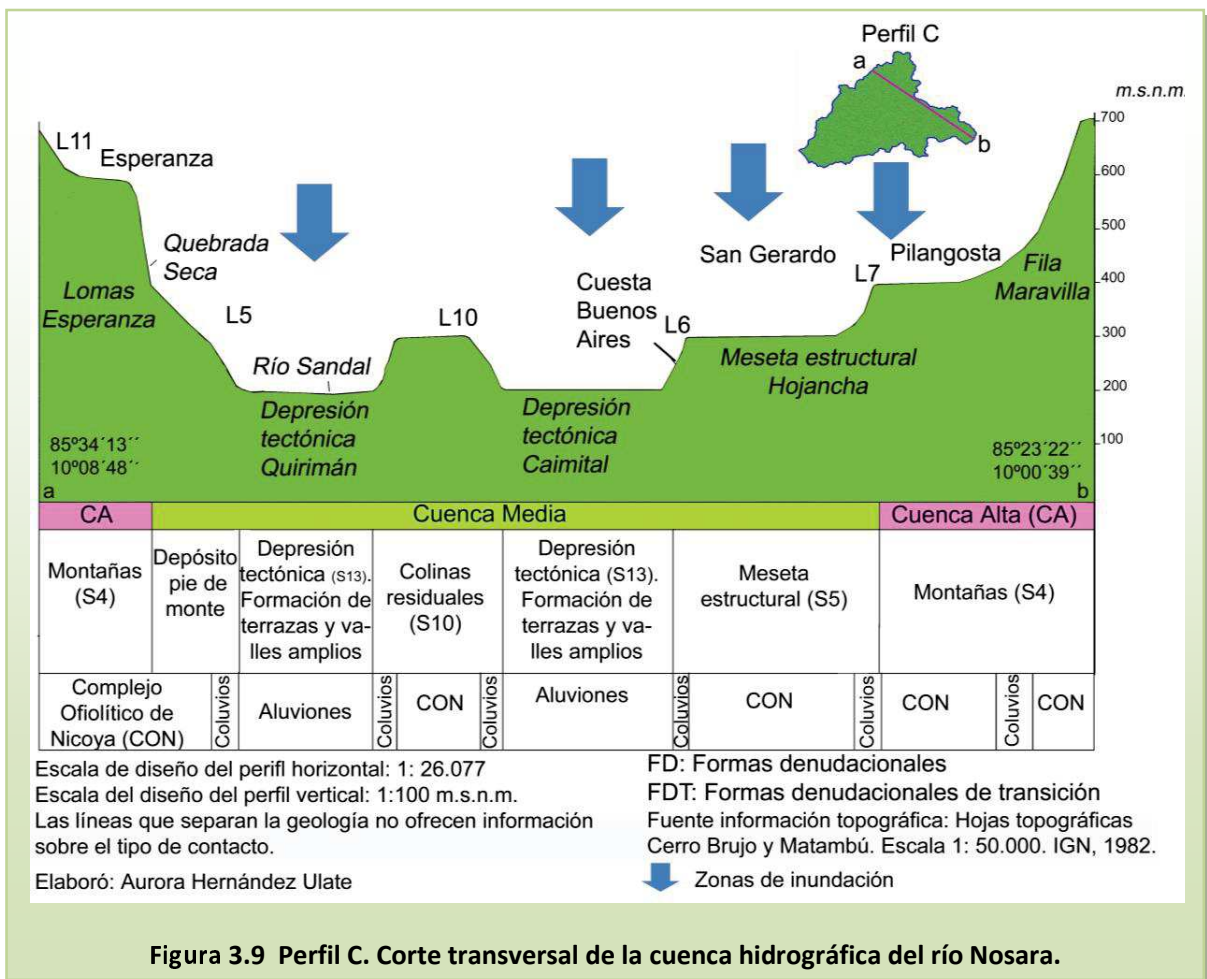
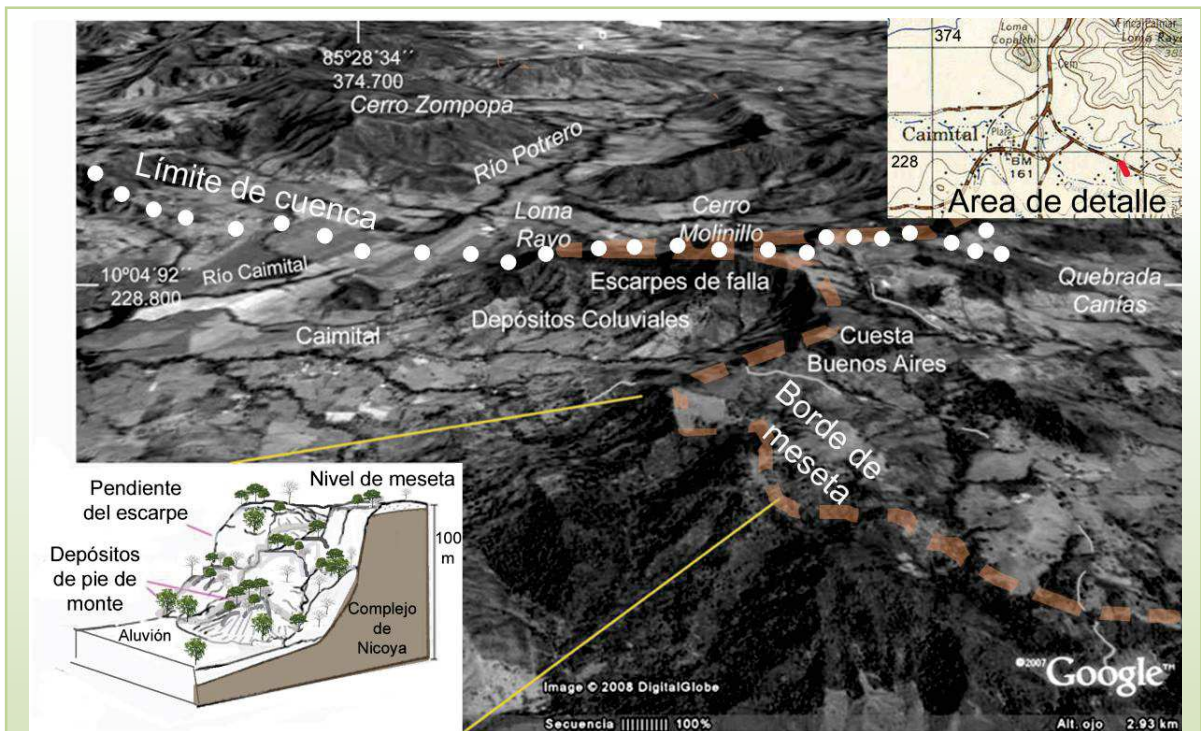


Figura 3.9 Perfil C. Corte transversal de la cuenca hidrográfica del río Nosara.

En la figura 3.11 se ilustran parte de las laderas del Sector de Cuesta Buenos Aires que se presume son líneas de escarpe de falla, ya muy meteorizadas (figura 3.10).



Fuente: Imagen de Google Earth, 2008 y Hoja topográfica Matambu, IGN, 1982.

Figura 3.10 Vista de la meseta en su extremo oeste en la sección correspondiente a la Cuesta Buenos Aires y esquema del escarpe de falla.

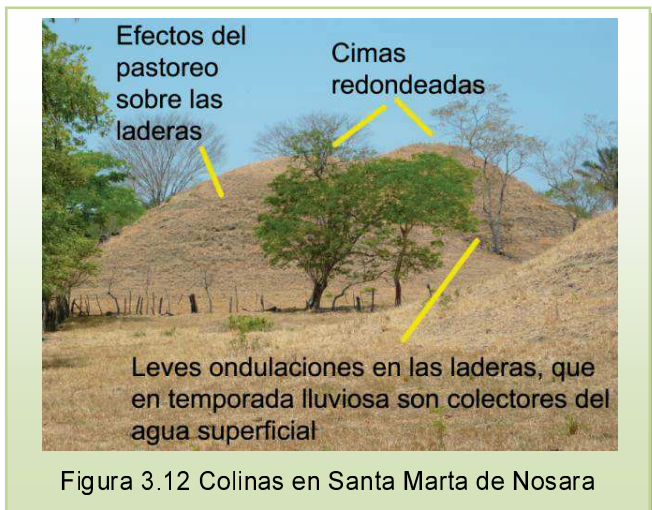
Colinas residuales (S10)

En la depresión tectónica de Nosara se observan conjuntos de bajos promontorios que interrumpen la continuidad del relieve plano y su origen podría asociarse a los procesos tectónicos que dieron origen a la depresión en la que se encuentran. Estas colinas alcanzan una altitud máxima de 60 m.s.n.m cerca de la localidad de Santa Marta de Nosara y sus formas aparecen muy desgastadas por los procesos de denudación, lo cual se evidencia en las formas sumamente redondeadas que las caracterizan.

En la actualidad su modelado redondeado no presenta disectaciones que dejen expuesto el material sedimentario que las constituye (figura 3.11), solo poseen leves ondulaciones que en temporada lluviosa sirven como colectores. Esto hace suponer que los principales procesos erosivos están determinados por la erosión hídrica, la cual se encuentra potenciada por el uso de pastoreo de las laderas.



El incipiente desarrollo del suelo en estas colinas lo hace muy vulnerable a sufrir los efectos de un manejo inadecuado o del uso inadecuado, sin embargo en las bases de las laderas no es posible observar evidencia de depósitos provenientes de movimientos de masas, ni la acumulación de materiales finos arrastrados por el agua (figura 3.12).



Depresiones tectónicas Caimital, Quirimán y Nosara (S13)

Existen dos áreas planas en la cuenca media que se han interpretado como depresiones tectónicas (Caimital y Quirimán). Ambas se encuentran a 200 m.s.n.m, su origen se ha asociado a la presencia de las fallas Quirimán y Nosara y se presume que han sido rellenadas por materiales provenientes de la degradación de laderas, más que por aporte fluvial. Según Dengo (1962), estas secciones planas rodeadas de montañas y colinas, son recorridas por ríos que podrían estar controlados por el fallamiento y es posible observar en ellas superficies erosionales remanentes, como es el caso de las colinas.

En la cuenca baja, la depresión tectónica Nosara aparece bordeada por la terraza fluvial y está cubierta por sedimentos aportados por la acción fluvial de los ríos Nosara, Montaña y Quebrada Seca y depositados sobre el basamento de origen sedimentario del Supergrupo Garza. Esta depresión posee una pendiente menor a los 5° y se presenta como una superficie amplia que permite que el río Nosara desarrolle un cauce ancho con gran cantidad de meandros y barras arenosas en su curso.

Depósitos de pie de monte o depósitos de talus (D7)

Los depósitos coluviales de pie de montes se observan con orientación paralela a los tributarios principales. Su origen se asocia al control estructural provocado por las fallas, las cuales provocan la aparición de escarpes de falla y consecuentemente, producen las acumulaciones de materiales coluviales. Estos provienen de las partes altas de las colinas y montañas (figura 3.13).

Un aspecto importante es que aunque el período lluvioso es relativamente corto, las intensas precipitaciones en los meses de septiembre y octubre, ocasionan que la acción hídrica produzca el movimiento de masas, sobre todo en los taludes de las carreteras o forme pequeñas cárcavas al pie de las colinas o pies de montes (figura 3.14).

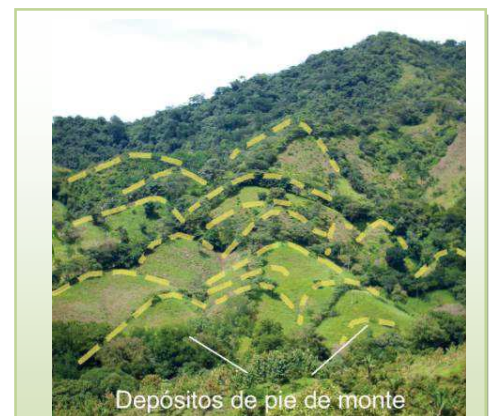


Figura 3.13 Pie de monte frente a Cuesta Buenos Aires.

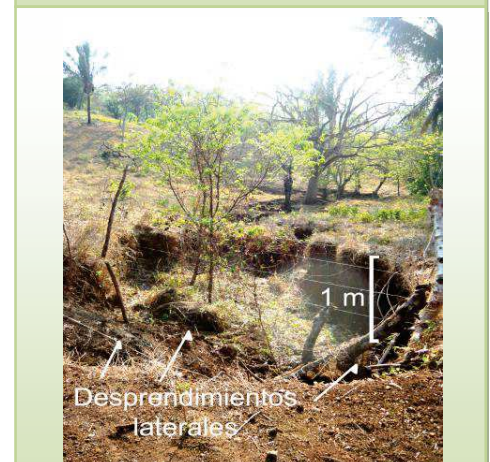


Figura 3.14 Cárcava poco profunda camino a las Juntas

Terraza fluvial (F6)

La terraza fluvial es una superficie de relieve plano a ligeramente ondulado y con altitudes que sobrepasan los 10 m.s.n.m (figura 3.15). Esta unidad se extiende aproximadamente 6,8 km². El origen de esta terraza se asocia a las variaciones hidrodinámicas, que hacen variar la competencia del flujo de agua y que permiten la profundización del cauce. Su forma es asimétrica y aparece rodeando la llanura de inundación de los tres cursos, Nosara, Montaña y Quebrada Seca.



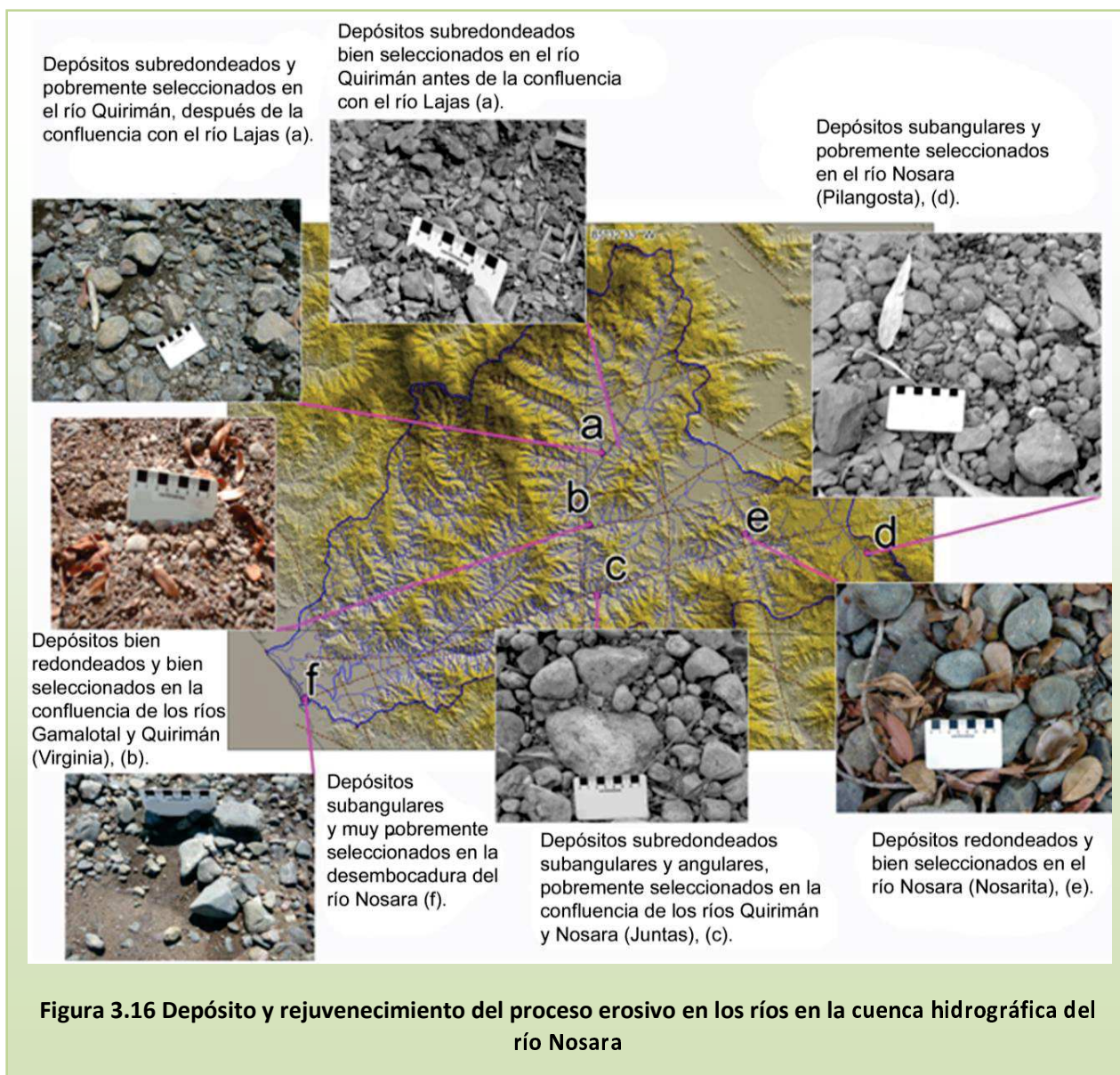
Figura 3.15 Terraza en la cuenca baja del río Nosara.

Cauces fluviales (F1)

En los perfiles B y C se observan los valles que descienden de las secciones altas, los cuales son en forma de V. Adicionalmente, en los perfiles A y C es posible observar la variación de la pendiente asociada al control estructural en la cuenca media, lo que ayuda a explicar la depositación de materiales en estas áreas de los ríos que descienden de las secciones altas y en gran medida, los episodios de inundación.

Se puede evidenciar este cambio en la carga transportada en el cauce de los ríos Quirimán y Nosara. En el primero antes de su confluencia con el río Lajas, posee una carga de guijas y guijarros (miden en promedio cerca de 1 ó 2 cm y de forma subredondeada), al confluir con

el río Lajas, el tamaño de los sedimentos observados varía, encontrándose desde guijas, guijarros y guijones. Aguas abajo, en la confluencia de los ríos Quirimán y Gamalotal, en una de las áreas susceptible a inundarse, los depósitos son materiales sumamente finos compuestos por guijas y guijarros. En el siguiente punto de muestreo, aguas abajo, en la confluencia del río Quirimán con el Nosara, se puede observar que los sedimentos varían en tamaño de guijas a guijones y bloques, redondeados, subangulares y angulares, los cuales se aprecian pobremente seleccionados. Esto parece indicar un rejuvenecimiento del proceso de erosión debido a un rejuvenecimiento del relieve por causas estructurales y el aporte de las laderas de estos bloques angulosos o subangulares (figura 3.16).



Similar es lo que sucede en el río Nosara, en el sector de Pilangosta, los sedimentos depositados en el cauce se encuentran pobremente clasificados, sus tamaños varían entre guijas (1 cm) hasta los guijones (15 cm) y se encuentran soportados en una matriz de arenas gruesas. Aguas abajo, en su paso por la comunidad de Nosarita, los depósitos que deja el río están formados por guijas y guijarros redondeados, bien seleccionados y que no exceden los 4 cm. Posteriormente, siempre aguas abajo, en su paso por Juntas, donde confluye con el Nosara con el Quirimán, su carga ha sido renovada y es posible observar en los depósitos guijas, guijarros, guijones y bloques, es decir, los materiales van desde 1 cm hasta los 25 - 30 cm y son subredondeados, subangulares y angulosos. Las laderas que circundan al cauce, que corresponden a la Fila Picudas y la fila de colinas del sureste, proveen los materiales para la renovación de la carga acarreada por el río Nosara.

En la parte baja de la cuenca, las características de este relieve se transforman y dan lugar a la formación de un lecho amplio que se ha profundizado en una terraza y que tiene la capacidad de divagar en un lecho que presenta avulsiones, es decir, el cambio brusco hacia una nueva posición del río, sobre todo cuando se producen los desbordamientos. Los depósitos que se observan en la desembocadura del río Nosara son subangulares, muy pobremente seleccionados y compuestos por arenas, guijas, guijarros, guijones y bloques.

En esta sección, predomina la erosión lateral de los ríos Nosara, Montaña y Quebrada Seca, la cual no profundiza su cauce, sino que lo ensancha. La vegetación natural en los alrededores del cauce del río Nosara en la sección baja se restringe básicamente a los árboles que aún quedan en los bordes y su escasez impide que sea un filtro que colabore con la fijación de los limos durante los desbordamientos del río Nosara. Este río no posee una zona de elevación natural de las orillas que las coloque en un plano más elevado que la llanura, por lo tanto, carece de un factor natural que impida o ayude a contener el desbordamiento y el único contenedor que se puede apreciar es lo que queda de un dique que fue construido en el 2007 (figura 3.17).



Figura 3.17 Cauce del río Nosara

Los ríos Nosara y Montaña poseen un lecho más amplio que el río Quebrada Seca, y en los dos primeros se distingue un sector que casi siempre está sumergido, que es el canal de estiaje (sector ocupado por las aguas más bajas) y un lecho ordinario o aparente, el cual es ocupado por el río en la temporada lluviosa. Dado que el período seco está muy bien definido, es posible identificar con exactitud estos sectores en ambos ríos. También en la época seca se pueden apreciar las secciones en las que son influentes (figura 3.18). La otra sección que es ocupada temporalmente por estos ríos en eventos extraordinarios de precipitación, se encuentra más allá de sus orillas y da lugar a la aparición de un lecho de inundación, el cual es solo ocupado por el río durante las crecidas.



Los ríos Nosara y Montaña presentan cambios por la erosión que se produce en las orillas o márgenes cóncavos, el aumento por acumulación de sedimentos en las orillas convexas o en todo el cauce durante una crecida y los potenciales cortes de los lóbulos o las ondulaciones de los meandros, pues estos son móviles o “libres”. La mayoría de las sinuosidades de los

ríos Montaña y Nosara tienden a incrementar su radio con orientación norte-sur. Las colinas de baja altitud son obstáculos a la divagación del cauce y las áreas donde se incrementa la curvatura, son obviamente, las áreas donde se está produciendo el proceso de erosión más acelerado en las márgenes del río.

Adicionalmente, los meandros se presentan separados por cortos tramos rectilíneos que siguen la dirección del lineamiento L7, formando series de meandros. Estos meandros tienen en la actualidad longitudes de onda (distancia entre vértices) que van desde los 110 metros hasta casi los dos kilómetros (figura 3.19). También en ellos se observan las acumulaciones de derrubios aluviales formando grandes barras laterales denominadas barras de punto.



Barra (M3)

La barra arenosa está compuesta por arenas y gravas que forman una franja angosta, alargada y paralela a la costa con una dirección NW-SE. Posee una longitud de 1.574 metros y fue originada por depósitos marinos y la acumulación de sedimentos fluviales. Al observar la línea de costa es evidente que la acumulación de sedimentos por el mar sigue

una dirección norte-sur, lo que ha permitido el desarrollo de las áreas de playa en esta sección de la península (figura 3.20).



Figura 3.20 Barra arenosa en la desembocadura del río Nosara

En la sección sur de la desembocadura del río Nosara se encuentra una saliente rocosa de la capa sedimentaria, la cual posee un área de acantilado vivo y una corta plataforma de abrasión de aproximadamente 5 m (figura 3.21). Ambas son formas sometidas a la acción abrasiva de las olas.

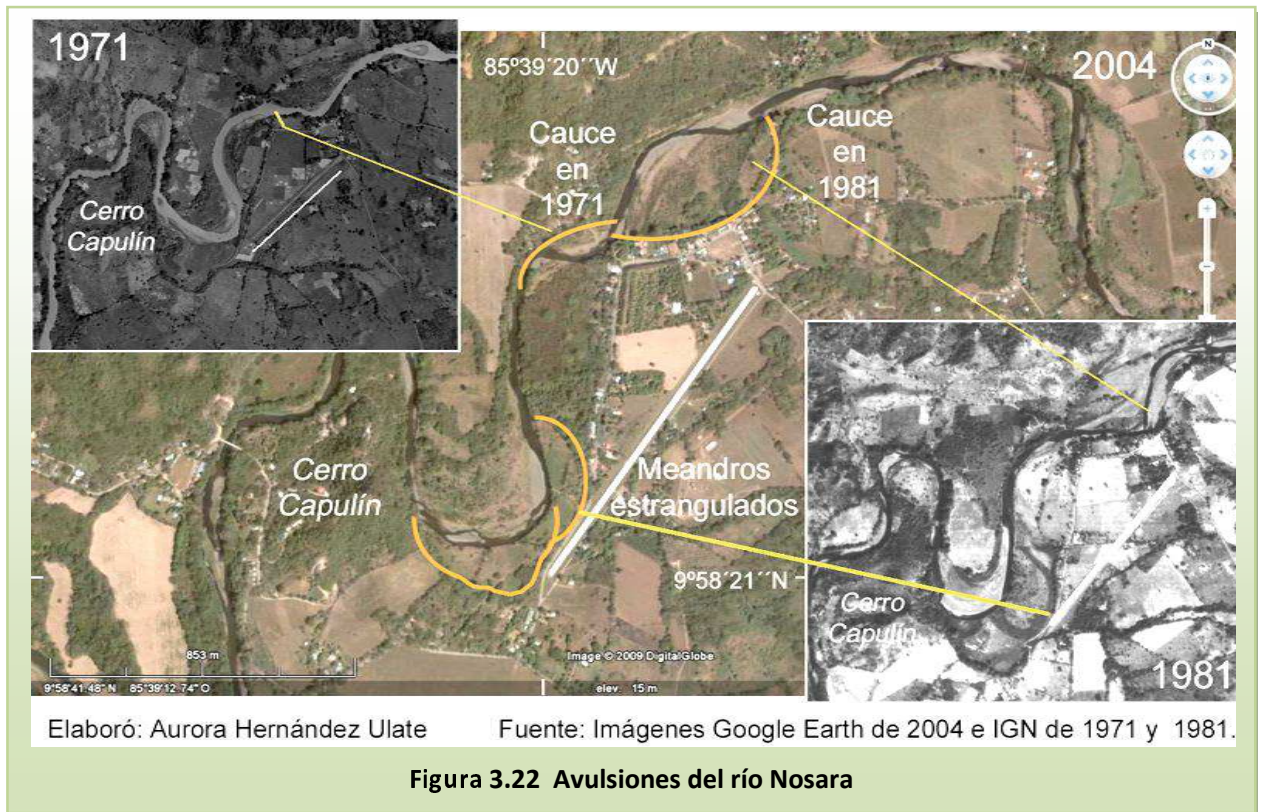
Es importante señalar que el río Montaña posee su desembocadura cerrada, casi permanentemente, por esta barra y solo la rebasa cuando el río se desborda.



Figura 3.21 Acantilado y plataforma de abrasión en la desembocadura del río Nosara

3.3 Cambios en las formas fluviales

En una comparación de las imágenes de 1971, 1981 y 2004, en el sector de Nosara, se observan con claridad los cambios en el recorrido del río, los cuales tienen una tendencia mover el cauce hacia el noroeste en la actualidad, en contraposición a la dirección de movimiento del cauce hace 30 años que era hacia el sureste (figura 3.22). Estos cambios en la dirección pueden estar asociados con los desbordamientos del río y con la depositación intensa de materiales que se ha producido, lo cual aumenta el desarrollo de las barras arenosas de punto.



Otros cambios importantes se evidencian en el segmento del río Nosara que va desde la localidad del mismo nombre hasta la desembocadura y en la comunidad de río Montaña (figuras 3.23 y 3.24). En esta última fue posible observar el área que ocupó el río Montaña hace aproximadamente media década y que marcó el terreno con una depresión que describe el meandro.

Los meandros de estos ríos son formas muy dinámicas y se transforman en períodos sumamente cortos. Estos cambios están relacionados con el alargamiento de la longitud del río, la consecuente reducción de la pendiente del cauce ordinario y el aumento de la curvatura.

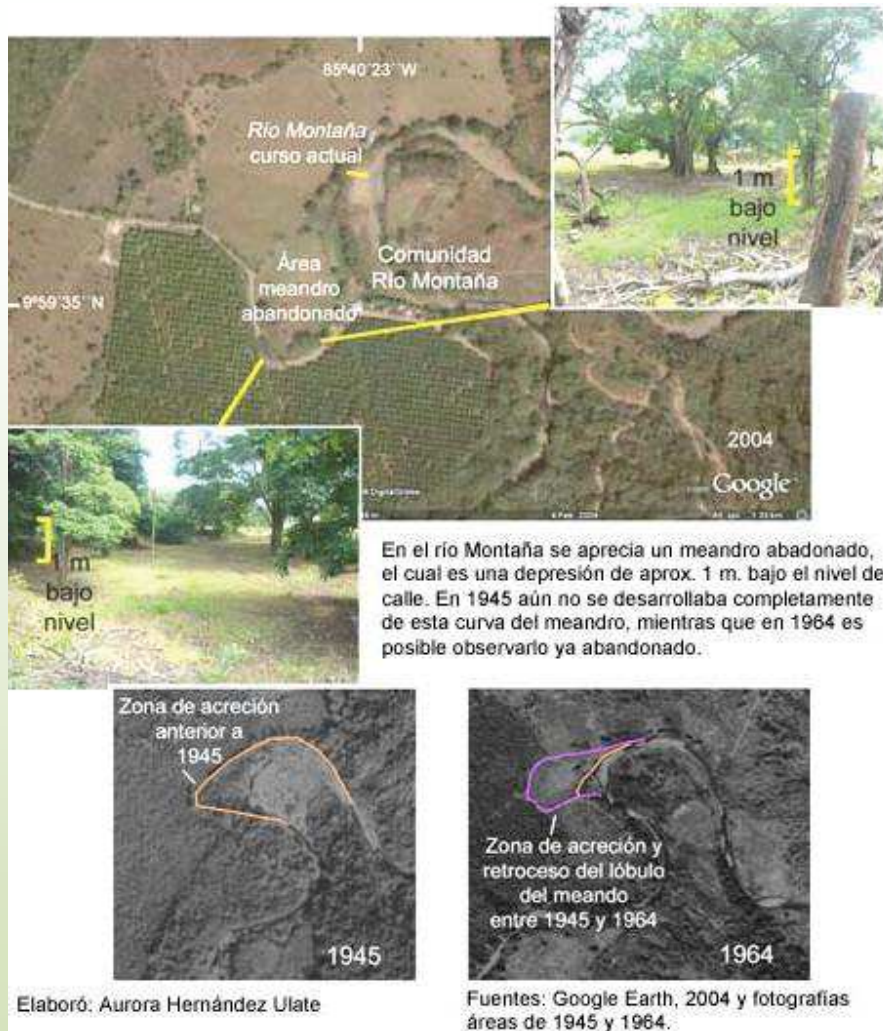


Figura 3.23 Meandro abandonado por el río Montaña a su paso por la localidad del mismo nombre.

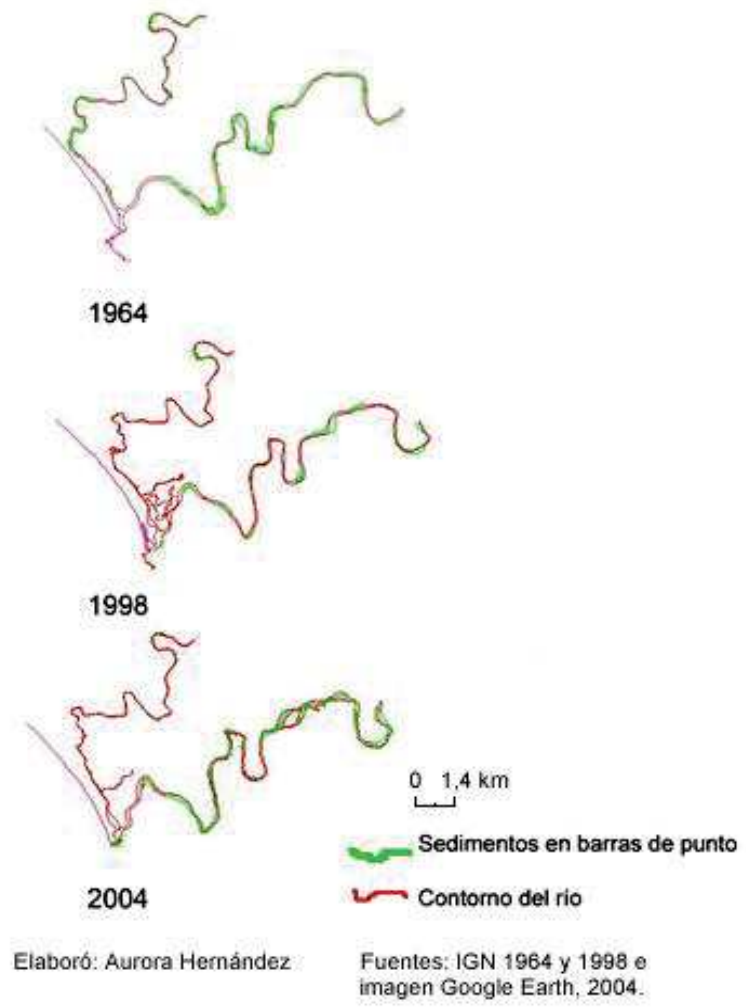


Figura 3.24 Cambios en los cursos de los ríos Nosara y Montaña.

Cuando la curva del meandro aumenta se acrecientan las áreas de erosión en el área cóncava donde inicia el desarrollo longitudinal del meandro, lo cual colabora en que se produzcan contactos tangenciales (figura 3.25). Si esto ocurre el resultado es el estrangulamiento del meandro y la rectificación de los cursos.

En las fotografías áreas de 1945 del Instituto Geográfico Nacional (IGN)

es posible observar la acreción de una barra de punto en el cauce del río Nosara (figura 3.26) y estas marcas permiten medir la magnitud en metros de estos cambios. Así, por ejemplo en casi 20 años, de 1945 a 1964, se pueden observar las transformaciones de la curvatura en uno de los meandros del río Nosara.

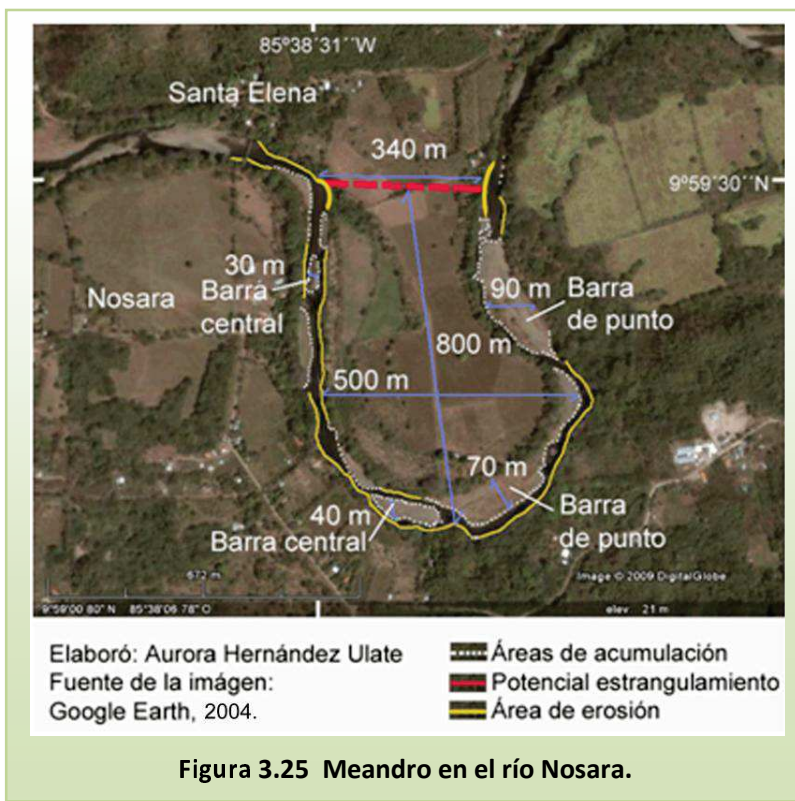


Figura 3.25 Meandro en el río Nosara.

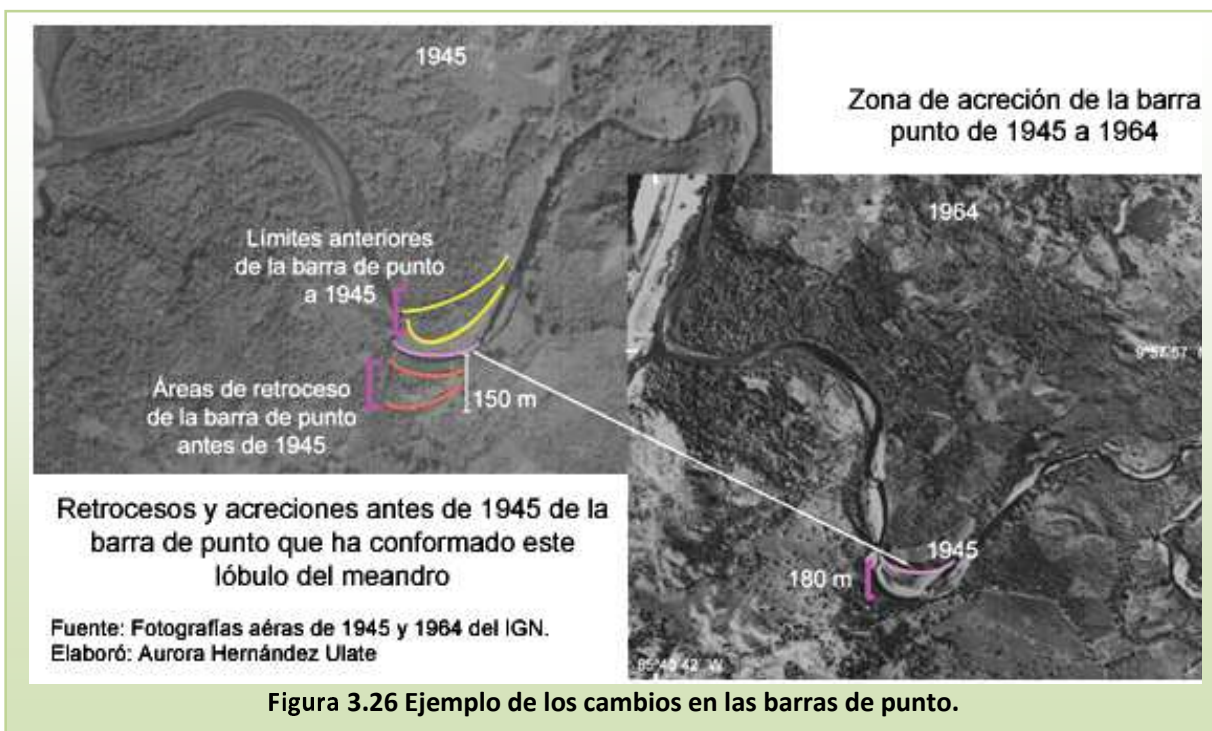
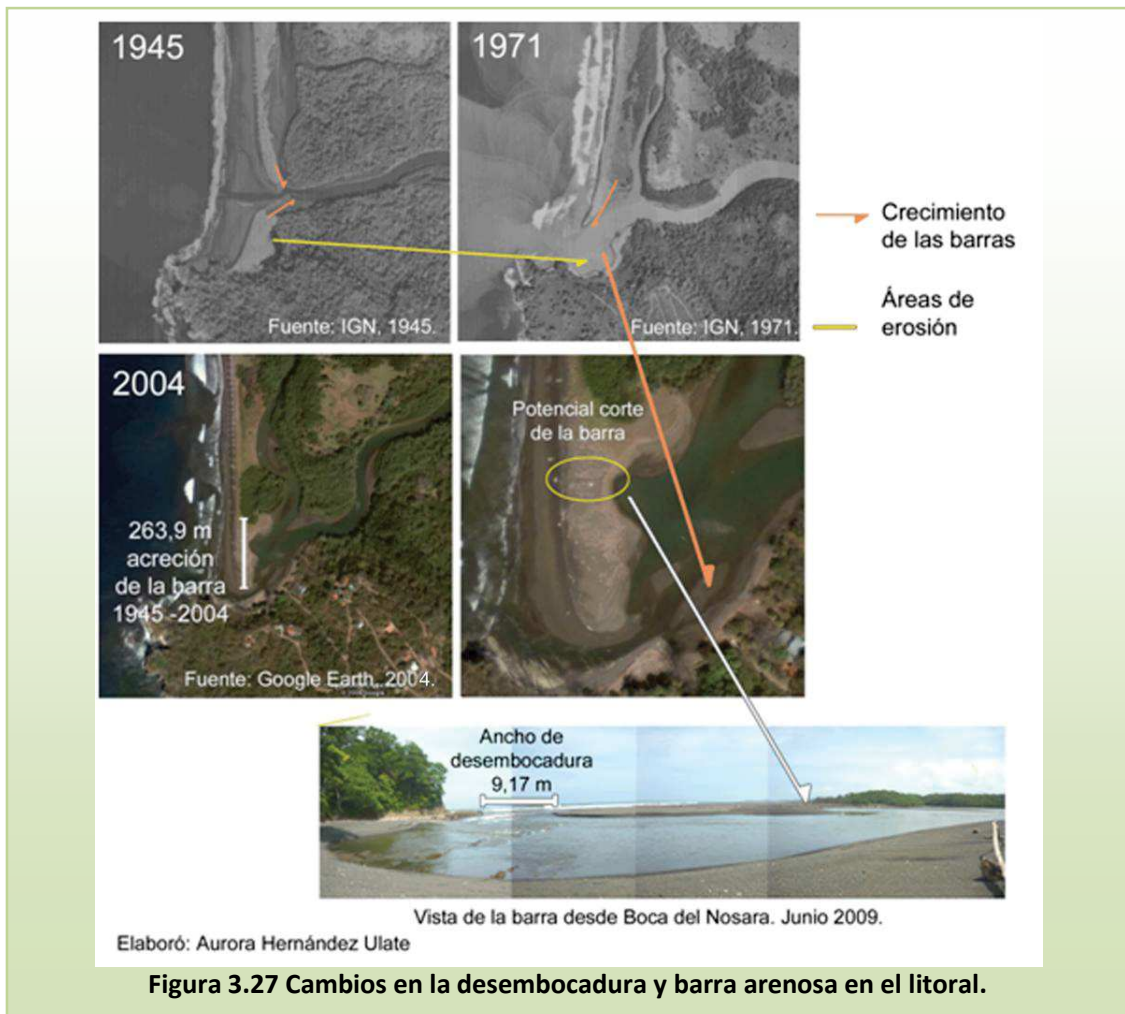


Figura 3.26 Ejemplo de los cambios en las barras de punto.

La erosión o la depositación son procesos que también producen cambios en la desembocadura de los ríos Nosara y Montaña. Si se observan las imágenes de la figura 3.27, el área de la desembocadura del río Nosara aparece rectilínea y sin barras que obstaculicen su salida al mar en 1945. Casi tres décadas después, en 1971, se puede observar la fuerte erosión que ha afectado la desembocadura, eliminando completamente la zona de acumulación de sedimentos y la playa que se encontraba hacia el lado derecho del cauce (aguas arriba). Adicionalmente, se observa una ocupación del río de esta zona y un crecimiento hacia el sur de la barra de sedimentos en la desembocadura.

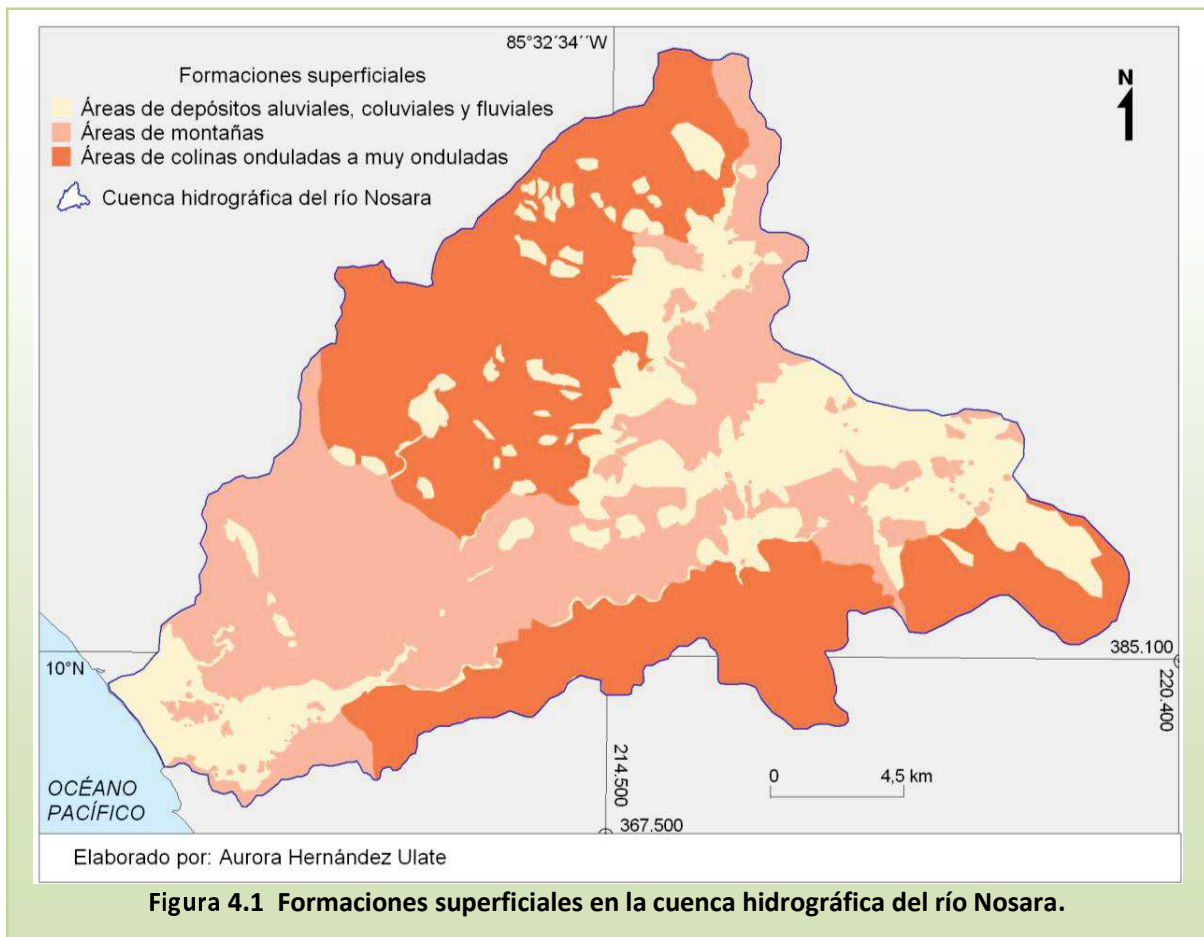


En la imagen de 2004, se aprecia el área de la desembocadura prácticamente colmatada de sedimentos, con una abertura de 9 metros. Es posible observar el rellenamiento del margen derecho (visto aguas abajo) y una incisión que potencialmente, puede constituirse en un corte que traslade la desembocadura hacia el norte, de forma parecida a la que se encontraba en 1945.

CAPÍTULO IV

Formaciones superficiales en la cuenca hidrográfica del río Nosara

Las formaciones superficiales en la cuenca hidrográfica del río Nosara se describen a partir de los materiales que se encuentran en la superficie y no forman roca consolidada, están compuestas por los depósitos cuaternarios y los suelos que se desarrollan sobre las formaciones geológicas. Se pueden clasificar estas formaciones superficiales en tres unidades: la correspondiente a las áreas de depósitos, las que se observan en las filas montañosas de la cuenca y las que se presentan en las áreas de las colinas onduladas a muy onduladas de la cuenca media (figura 4.1).



- **Áreas de depósitos.** Las formaciones superficiales en áreas de depósitos pueden ser aluviales, fluviales y coluviales y se las ubica principalmente en las depresiones tectónicas Caimital, Quirimán y Nosara. Los depósitos aluviales pueden alcanzar entre 80 a 90 cm y este relleno queda expuesto para su observación en los algunos

bordes de los cauces de los ríos y en zonas que por el trazado de la carretera quedaron expuestos como perfiles. Por otra parte, donde la topografía da lugar a las colinas residuales únicamente se observa un escaso desarrollo del suelo, de alrededor de 5 cm (figura 3.11).

Los depósitos coluviales de pie de montes se observan con orientación paralela a los tributarios principales. Su origen se asocia a los escarpes de falla y consecuentemente producen las acumulaciones de materiales coluviales provenientes de las partes altas de las colinas y montañas.

Los depósitos de la cuenca media se encuentran sobre una base litológica correspondiente al Complejo de Nicoya y en la parte baja se encuentra sobre las rocas sedimentarias del Supergrupo Garza. Sobre ambas litologías los suelos presentan principalmente una textura arcillosa y sus coloraciones son 7.5YR 4/3, 7.5YR 3/3 y 7.5YR 3/2.

Los sedimentos fluviales en forma de barras de punto y centrales en los ríos de la cuenca media están formados por guijas, guijarros, guijones y bloques, como por ejemplo, en comunidad de Nosarita, el río Nosara a su paso deja depósitos formados por guijas y guijarros redondeados, bien seleccionados y en su paso por Juntas, donde confluye con el Nosara con el Quirimán, es posible observar en los depósitos guijas, guijarros, guijones y bloques, de formas subredondeados, subangulares y angulosos (figura 3.16).

En cuanto a los resultados de los límites de Atterberg los depósitos aluviales, presentan las siguientes características: a) un 45% en el límite líquido (LI), indica una expansividad de baja a media y una cohesión de las partículas que evita que la masa del suelo fluya por la gravedad; b) un índice bajo de plasticidad, del 11,9% (Ip) y un límite de contracción (Lc) de 16%. Estos resultados indican que esta formación realiza una infiltración moderada del agua superficial, lo cual está en concordancia con el predominio de la textura arcillo limosa y arcillo arenosa en algunos sectores.

- ✿ **Filas Montañosas.** La formación superficial que abarca las filas montañosas como por ejemplo las filas Esperanza, Maravilla, Cola de Gallo y Cerro Negro se caracteriza porque facilita el desarrollo de valles alargados, los cuales son controlados estructuralmente. Poseen vertientes que se desarrollan con dirección NW - SE, apareciendo como profundas disectaciones que no superan los 7,43 km², que es la longitud máxima alcanza en el valle del río Lajas. Esta formación se encuentra sobre

una base litológica correspondiente al Complejo de Nicoya y sobre esta litología los suelos presentan una textura arcillosa arenosa en el área de la Fila Maravilla y los Cerros Progreso y una textura arcillo limosa en las filas Esperanza y Cola de Gallo.

Un aspecto importante es que los suelos de esta formación son alfisoles y la presencia de arcilla en su textura les confiere un comportamiento plástico y adhesivo, que a su vez se convierte también en una baja potencialidad de erosionarse por la cohesión que esta textura le brinda a los suelos.

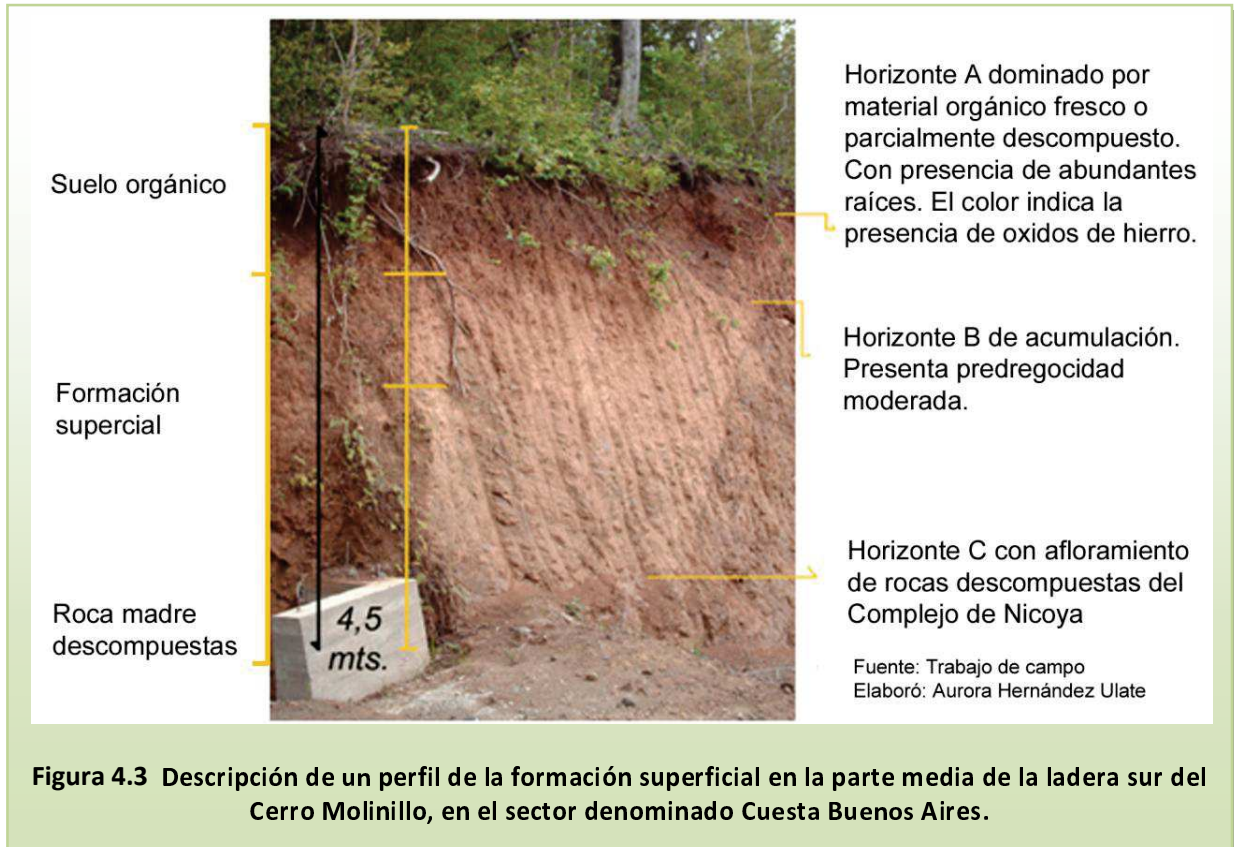
Las formaciones superficiales que se encuentran en laderas y divisorias de agua de esta unidad son producto de procesos de alteración ocurridos en el sitio, es evidente la materia orgánica en descomposición sobre el suelo y su coloración rojiza, producto de la presencia de los óxidos de hierro (figura 4.2).

La coloración de los suelos en esta formación superficial es fundamentalmente de café oscuro (HUE 7.5 YR 3/2) a rojo amarillento (HUE 5 YR 4/6). El color depende de la cantidad de material orgánica y el tipo de óxido de hierro presente en un suelo. Estas coloraciones permiten suponer la presencia de óxidos de hierro (Hematita), el cual es el material rojo más común en los suelos y cuya presencia es también común en suelos altamente meteorizados como los tropicales (Casanova, 2005) (figura 4.3).

Los tonos café, como por ejemplo HUE 7.5 YR 3/2; HUE 10 YR 4/4, HUE 10 YR 4/3 HUE 7.5 YR 3/3, que se observan en esta formación se asocian a condiciones de suelos bien drenados, moderadamente sujetos a condiciones de desgaste por la acción atmosférica, con una alta presencia de materia orgánica, una alta fertilidad; mientras que las coloraciones rojiza (HUE 5 YR 4/6, HUE 5 YR 3/4, HUE 7.5 YR 6/6) se asocian también a características de suelos bien drenados, pero altamente lixiviados, intensamente afectados por el desgaste de la acción atmosférica y con una baja fertilidad (Thwaites, 2006). Esta coloración y los resultados de las texturas indican que esta formación superficial se caracteriza por ser bien drenada, pues cuando presentan estas dos condiciones se puede inferir que hay suficiente oxígeno para mantener al hierro en su estado férrico (Fe^{+++}) y esto se manifiesta en las



coloraciones rojizas (Casanova, 2005). Las coloraciones caobas aparecen en la medida en que aumenta el contenido de materia orgánica en los suelos, lo que resulta que la coloración roja se torne caoba (Millar, Turk y Foth, 1980).

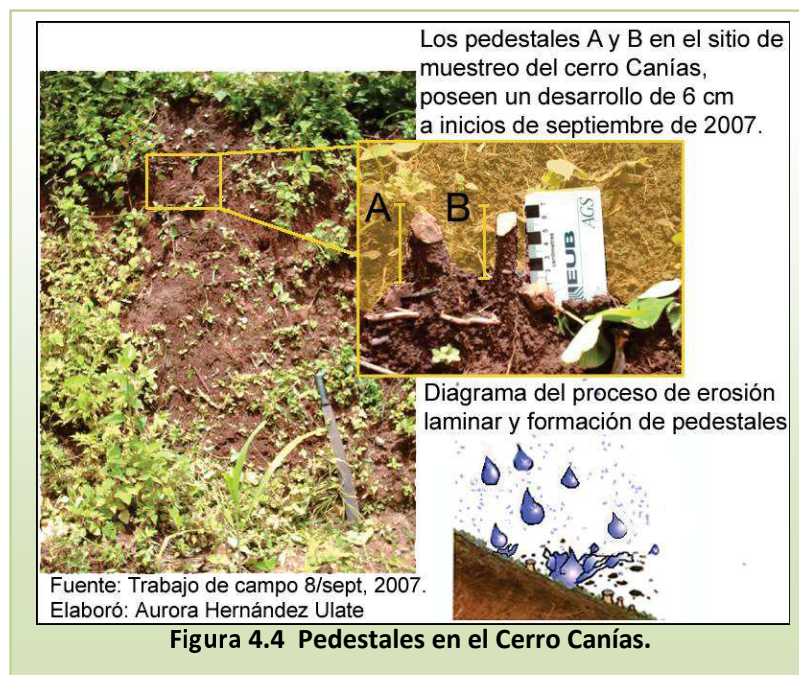


Es preciso apuntar que en campo se observa poca materia orgánica en descomposición y en la superficie del suelo es posible apreciar gran cantidad de raíces expuestas, tanto de arbustos como de plantas de menor tamaño, lo que permite suponer la existencia de una fuerte erosión laminar. Este tipo de erosión puede estar asociada a que esta formación presenta las mayores pendientes.

La formación superficial que corresponde a las montañas posee en promedio un punto de una capacidad de campo entre los 30,7%; una saturación de 46,2% y una conductividad hidráulica saturada de 0,33 pulgadas por hora, que significa que es moderadamente rápida. Estos datos permiten afirmar que esta formación es bien drenada y que la condición de humedad se presenta solamente durante la estación húmeda, pues su límite de saturación es alto.

Además, esta condición de saturación durante el período lluvioso favorece la escorrentía superficial, la cual puede estar potenciando los procesos de erosión laminar hídrica que se evidencian en los abundantes pedestales que se forman en las laderas (figura 4.4).

En cuanto a los límites de Atterberg, en esta formación superficial se encontró que:

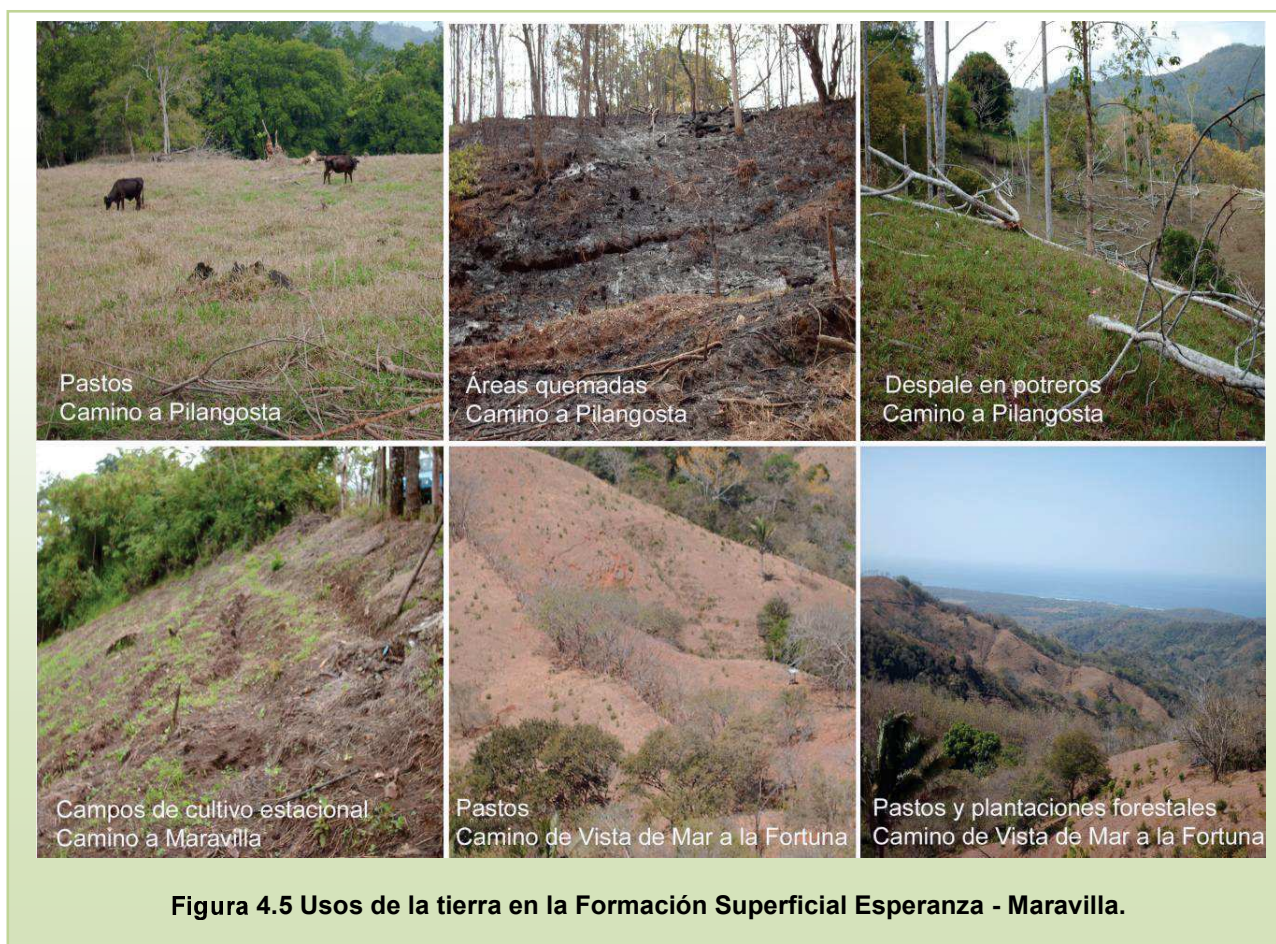


- ☀ El 25% para su límite líquido (LI), indica una expansividad de baja a media, lo que favorece a una cohesión de las partículas y evita que la masa del suelo fluya por la acción de la gravedad, lo que explica que no se observen movimientos de desprendimientos de masas, salvo en algunos de los caminos de Pilangosta hacia la Fila Maravilla.
- ☀ El 8,2% de índice de plasticidad (Ip) implica que es de bajo a moderadamente plástico y que ofrece pocas dificultades para realizarse un manejo adecuado de estos suelos. Ambos índices predicen un bajo potencial de problemas derivados de la capacidad de los suelos de cambiar de volumen.
- ☀ El límite de contracción (Lc) es del 25%, esto apunta a que los cambios de humedad producen relativamente pocos cambios de volumen en el suelo. En este caso, los movimientos de masas en las laderas son probables y en campo fueron observados sobre todo en cortes del terreno inestabilizados realizados para la construcción de infraestructura o en áreas de pastoreo.

En las filas montañosas el escaso avance de la urbanización y consecuentemente una escasa apertura de caminos o de obras de mejoras en estos han permitido mantener esta estabilidad al no romper con el desarrollo natural de las pendientes. No se observan

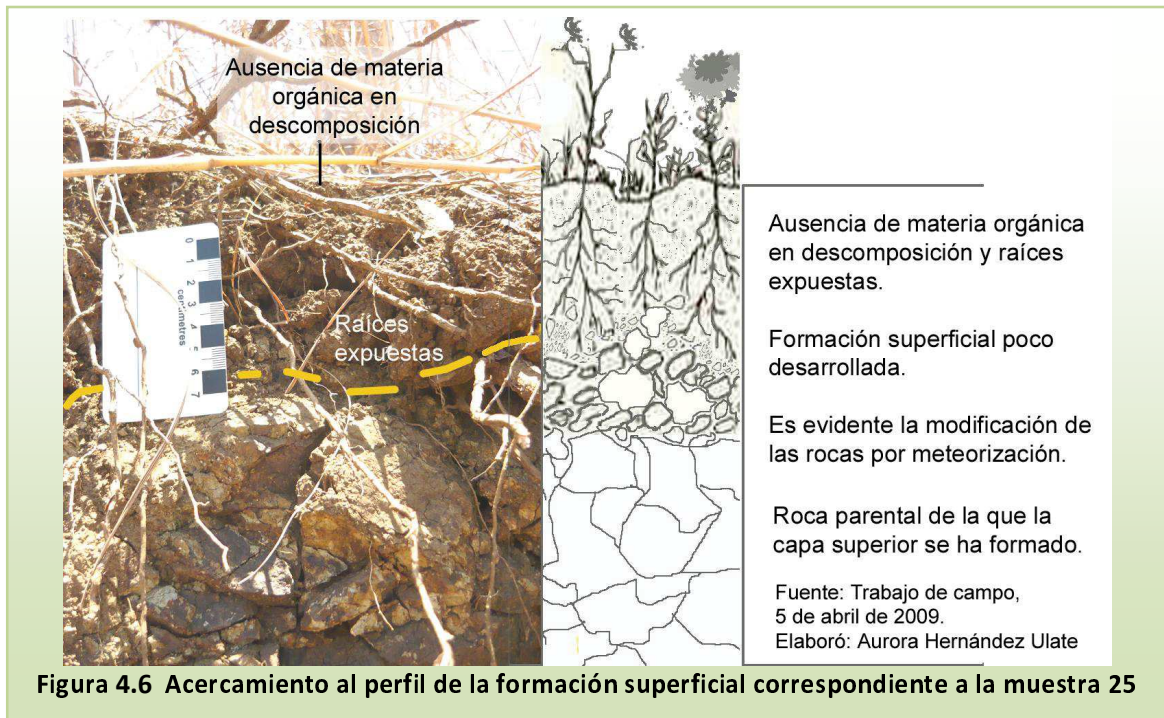
desprendimientos de gran envergadura en los caminos, solamente desprendimientos pequeños a la orilla de caminos secundarios o de acceso a fincas. Tampoco se han observado deslizamientos activos en esta zona.

El espesor de esta formación superficial varía de un metro hasta los 2,5 metros. Presenta una pendiente moderada entre 20 y 30%, las cuales se encuentran ocupadas, en su mayoría, por tacotales o pastos. Las áreas dedicadas a las pasturas evidencian pie de vaca, pero no movimientos en masa, ni se observan evidencias de reptación (figura 4.5). Sin embargo, si fue posible observar en el terreno campos quemados y el despale para eliminar sombra de las áreas de pastoreo.



- **Colinas onduladas a muy onduladas.** Las formaciones superficiales sobre la cuenca media sobreyacen sobre el Complejo de Nicoya y sobre los materiales sedimentarios del Supergrupo Garza. Los suelos en esta sección son suelos inceptisoles y alfisoles.

En el caso de las áreas donde hay suelos inceptisoles, estos están escasamente desarrollados y presentan apenas la formación incipiente de un horizonte b. En los perfiles observados en esta formación en los puntos donde se realizó el muestreo no es posible reconocer horizontes diferenciados o poseen un escaso desarrollo de horizontes. En algunos puntos incluso es evidente que no existen suelos desarrollados sobre las rocas, aunque estas si presentan procesos de alteración, lo que podría indicar el incipiente desarrollo de un horizonte C (figura 4.6).



Es importante anotar que en estas colinas no se observaron capas de materia orgánica acumuladas en la superficie. Según Cardona (1994), la carencia de acumulaciones de materia orgánica en descomposición es esperable en suelos de lugares que tienen temperaturas altas. Asociado a esto último, se puede anotar que se observaron raíces expuestas en las superficies o en los taludes, evidenciando procesos de erosión hídrica laminar fuerte.

Los perfiles de esta formación superficial tienen una coloración que va desde el tono café muy oscuro (HUE 10 YR 2.5/3) hasta el rojo amarillento (HUE 5 YR 4/6), lo que evidencia la presencia de óxidos de hierro y una alta meteorización. Aunque en algunos casos, las coloraciones son un poco cobrizas (HUE 10 YR 5/4). Esto puede deberse a una condición relacionada con la mayor cantidad de agua de lluvia que recibe esta formación en comparación con las áreas de montaña.

En cuanto a los resultados de los límites de Atterberg de esta formación superficial, presentan las siguientes características: a) un 50,1% en el límite líquido (LI), indica una expansividad de baja a media y una cohesión de las partículas que evita que la masa del suelo fluya por la gravedad; b) un índice bajo de plasticidad, del 11,4% (Ip) y un límite de contracción (Lc) de 17,3%. Estos resultados indican que esta formación realiza una infiltración moderada del agua superficial, lo cual está en concordancia con el predominio de la textura arcillo limosa y arcillo arenosa en algunos sectores.

Esta formación presenta un bajo potencial de problemas en los suelos asociados a los cambios de volumen y en las áreas con pastos es posible observar pequeñas cárcavas al pie de los montes y reptaciones. En conclusión, se puede señalar que las laderas de esta formación presentan procesos de erosión hídrica laminar intensa, acelerados por tres aspectos: el uso del suelo, las características del suelo, mencionadas anteriormente, y los excesos de precipitación que recibe durante la época lluviosa.

En esta formación se observaron fuertes procesos de erosión hídrica en las laderas, en las cuales se forman surcos que sobrepasan un metro de profundidad (figura 4.7). En estos quedan expuestas las rocas en su sección más profunda. Es frecuente observar también las raíces expuestas en los perfiles, pero no se observa una formación de pedestales tan intensa como en las montañas. Esto puede deberse al escaso desarrollo de horizontes del suelo.

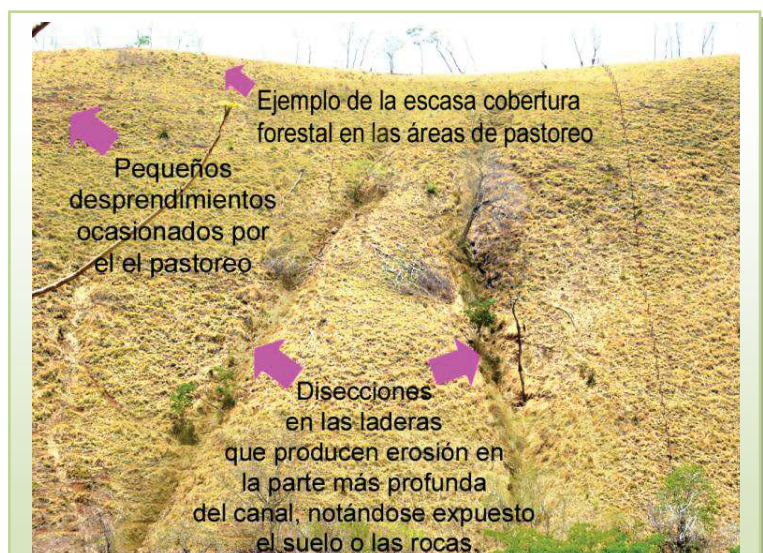


Figura 4.7 Procesos erosivos en la Formación Superficial Ojochillal, en la localidad de Cerro Brujo.

4.1 Procesos morfodinámicos en la cuenca hidrográfica del río Nosara

La principal diferencia en los procesos morfodinámicos que presentan las áreas de depositación aluvial, las montañas y las colinas onduladas a muy onduladas es en la forma en que se manifiestan los procesos denudacionales. En la primera, predomina la

sedimentación y en las otras dos, la erosión hídrica laminar. En las montañas la erosión hídrica forma numerosos pedestales en laderas y cortes de carreteras. No fue posible identificar en esta formación otras formas de erosión en laderas como la reptación de los árboles o la presencia de cárcavas. En algunos sectores en que todavía se practica el pastoreo se observó durante el trabajo de campo que se han originado procesos de pie de vaca en las laderas.

En las colinas onduladas a muy onduladas se pueden distinguir procesos más agresivos de erosión hídrica, los cuales han marcado surcos poco profundos (de uno a dos metros de profundidad) en la mayoría de los casos en las laderas y han dado origen a pequeñas cárcavas, no en las partes altas de las colinas sino al pie de estas. La formación de estas cárcavas y surcos se debe a la conjugación de varios aspectos: el uso de la tierra en pasturas, los eventos de precipitación se concentran grandes cantidades de agua rápidamente al pie de las colinas y la fuerza con que descende el agua en pendientes de 30°. Todo unido propicia un escenario donde la acción del agua es el principal agente erosivo.

Las geoformas y sus procesos indican que ambas formaciones estuvieron sujetas a un modelado tectónico, que se evidencia en las líneas de escarpes de falla, que se encuentran intensamente afectados por la meteorización. También se observan en ambas cicatrices de deslizamientos o movimientos de masas considerables (figura 4.8), que explican las formas cóncavas de las colinas onduladas de la cuenca media y los pies de montes convexos.

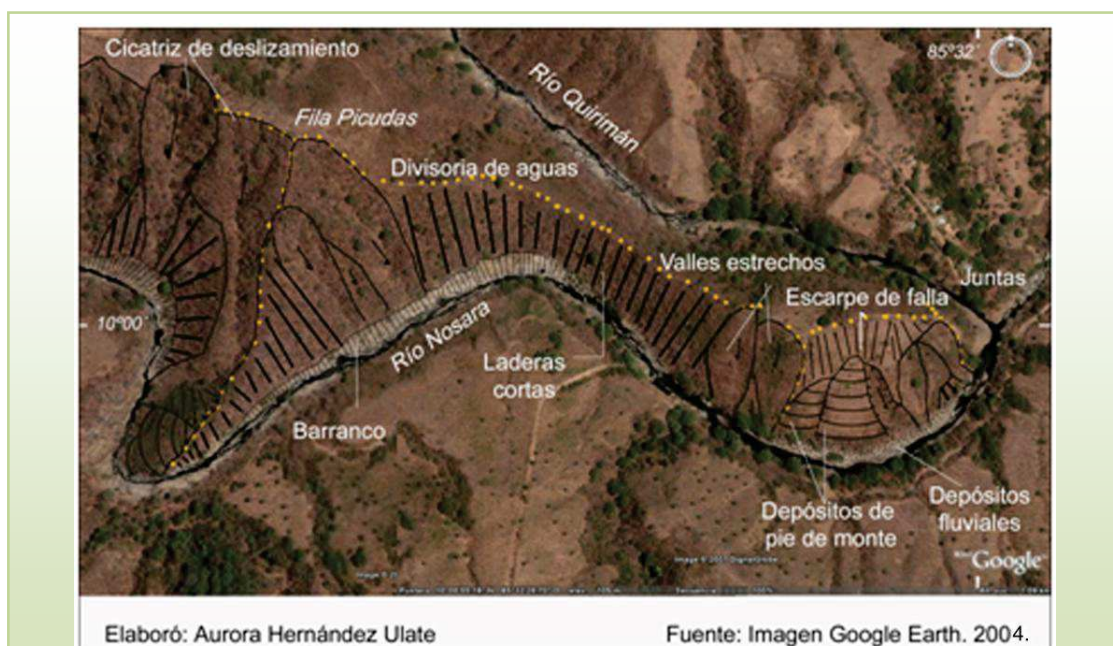


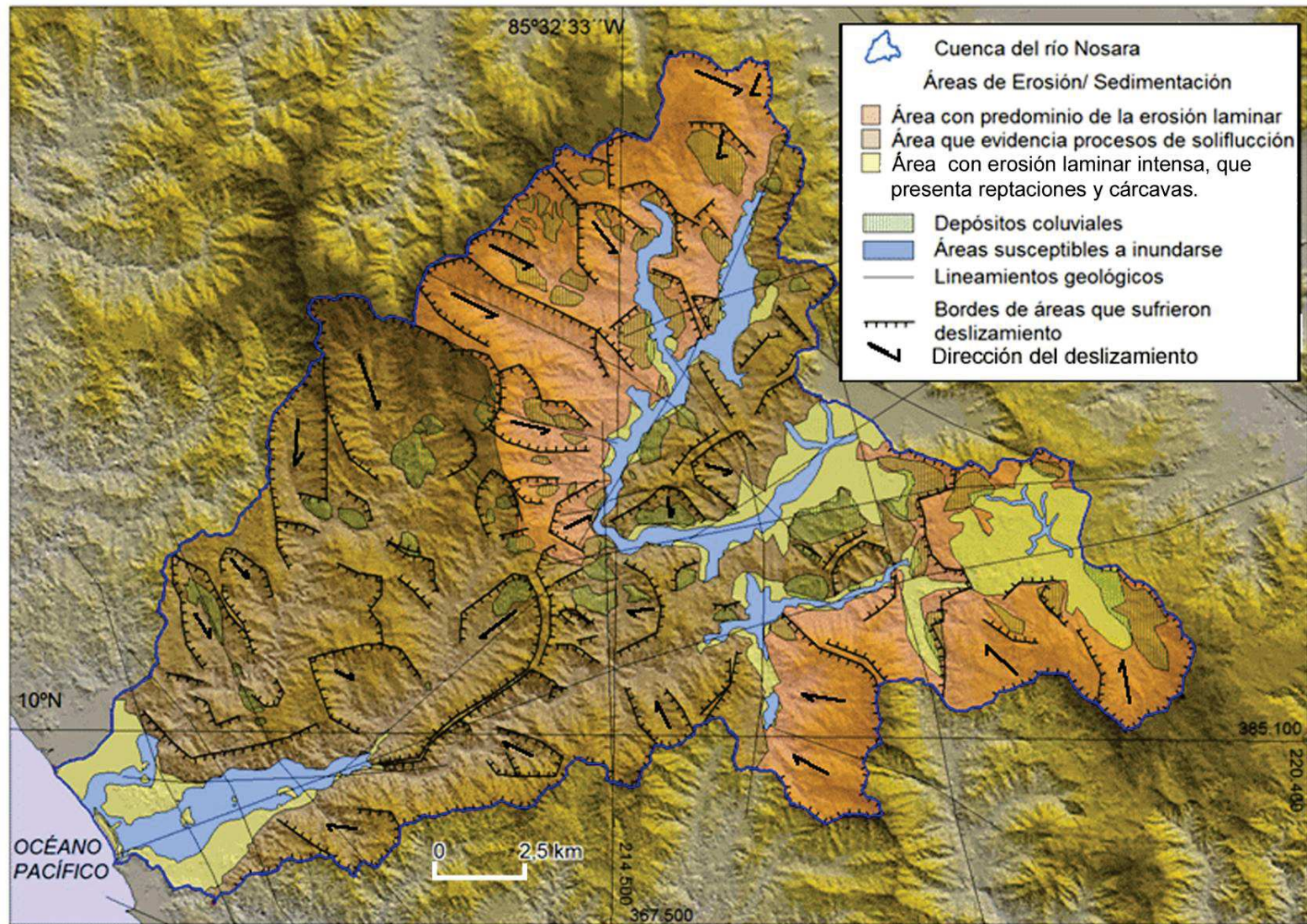
Figura 4.8 Ladera en la Fila Picudas con pequeños valles estrechos y cóncavos, depósitos de pie de monte, cicatrices de deslizamiento y líneas de escarpe de falla.

El trabajo de muestreo y observación de las UG y sus formaciones superficiales en la cuenca hidrográfica del río Nosara permitió establecer los procesos morfodinámicos que presenta (figura 4.9), clasificando estos en:

- a) áreas de predominio de la erosión laminar moderada, que como puede observarse en la zona de estudio, son áreas con formación de pedestales;
- b) áreas de intensa erosión, en las que es posible observar reptación de los árboles o formación de cárcavas en el pie de los montes;
- c) en áreas de predominio de la sedimentación,
- d) áreas de depósitos coluviales y
- e) áreas inundables.

Adicionalmente, se identificaron los bordes o cicatrices de las áreas que sufrieron deslizamientos y la potencial dirección que tuvieron los materiales desprendidos de estas.

Con respecto a los agentes morfodinámicos, se puede afirmar para el área de colinas onduladas a muy onduladas y el área de montañas, que en la actualidad es el agua, que conjugada con el uso de la tierra y la condición o forma en que la tierra se está usando para realizar actividades productivas, el agente que provoca cambios relacionados con la denudación de las formas, es decir, los procesos originados por el arranque y acarreo de las partículas por varios procesos erosivos y la posterior depositación de estos en los medios sedimentarios. La acreción, por la acumulación de depósitos fluviales en la sección baja de la cuenca, principalmente en los cauces, aumenta la posibilidad de cambios en los cauces por crecimiento en las barras de punto y el rellenamiento del fondo del río.



Elaboró: Aurora Hernández Ulate

Fuente de datos del modelo de sombras del relieve: bases digitales del Laboratorio de SIG de la Escuela de Ciencias Geográficas, UNA; Áreas de inundación: CNE, 2003 y Coluvios: SENARA, 2003.

Figura 4.9 Morfodinámica de la cuenca hidrográfica del río Nosara.

CAPÍTULO V

Capacidad de uso de la tierra, uso de la tierra y riesgo de erosión en la cuenca hidrográfica del río Nosara

La cuenca hidrográfica del río Nosara, como ocurrió en casi toda la Península de Nicoya, fue transformada por el despale, es decir, tierras bajo cobertura forestal fueron desmontadas y convertidas en zonas de ganadería extensiva y en menor medida en áreas de uso agrícola durante el siglo XX. Esta transformación de la cobertura natural fue realizada con la ausencia de un plan de uso de la tierra, la carencia de incentivos para mantener la cobertura forestal y las políticas que propiciaban el desmonte para uso agropecuario en Costa Rica, como lo ejemplifican la ley de 1932 para el desarrollo de la actividad ganadera (Cortés, 1994) y la Ley de Información Posesoria (1941) que promovía las actividades agrícolas (INBIO, 2009).

5.1 Clases de capacidad de uso de la tierra en la cuenca hidrográfica del río Nosara

La estructura del sistema de clasificación de capacidad de uso de la tierra en Costa Rica se subdivide en clases, las cuales se refieren a los grupos de tierras que presentan condiciones similares de limitaciones y riesgo de deterioro asociados a la erosión, al suelo, al drenaje, la pendiente, la pedregocidad y el clima (Cubero, 1994)².

En la cuenca hidrográfica del río Nosara se presentan cuatro clases de capacidad de uso de la tierra (cuadro 5.1). Todas las clases presentan limitaciones para su uso agropecuario y en las últimas dos clases las restricciones se amplían a los usos forestales. Las principales limitantes son: el relieve ondulado a muy ondulado, las pendientes entre los 35° y los 55° y las intensas precipitaciones en las fases frías de ENOS. De manera que los usos aconsejables son aquellos que permiten tener una cobertura vegetal del suelo durante todo el año de forma continua para la categoría II, anual para la IV, permanente para la VI y dedicado a la protección de los recursos naturales en la categoría VIII. Todas estas clases requieren medidas para la conservación de suelos y aguas (figura 5.1).

² Descripción completa de esta metodología en el Manual de Manejo de Suelos y Aguas de Cubero, Diógenes, 1994.

Cuadro 5.1 Clases de capacidad de uso en la cuenca hidrográfica del río Nosara

Clase	Uso preferible
II	
IV	
VI	
VIII	

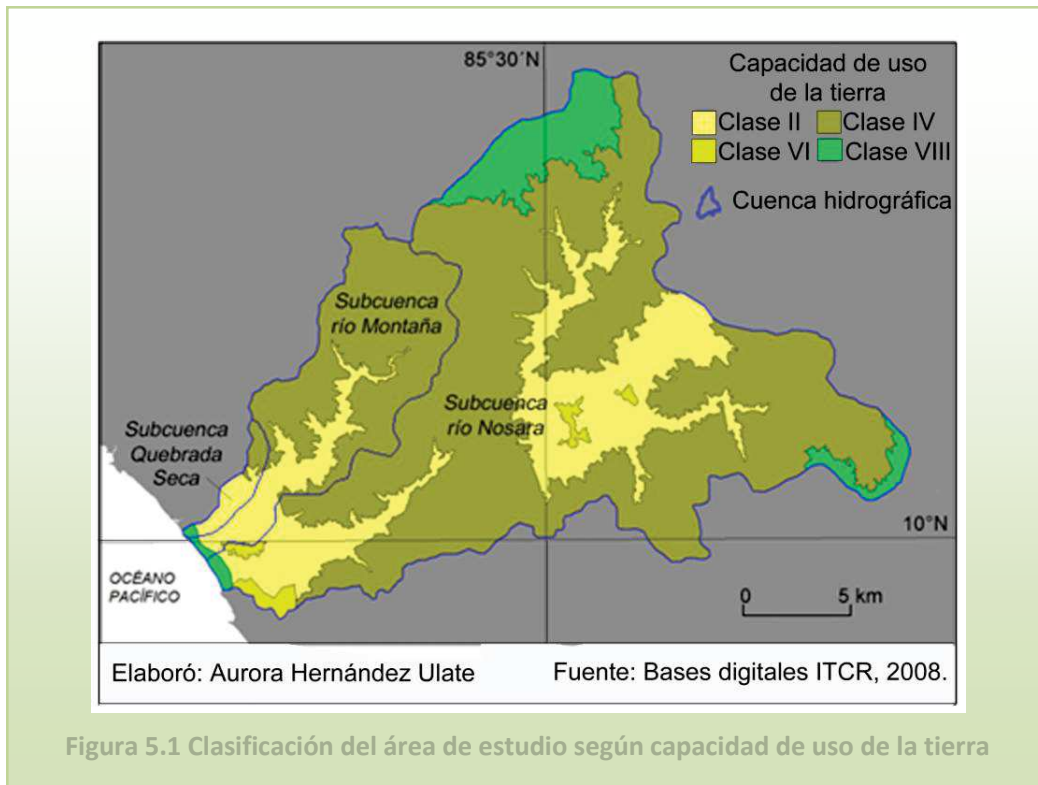
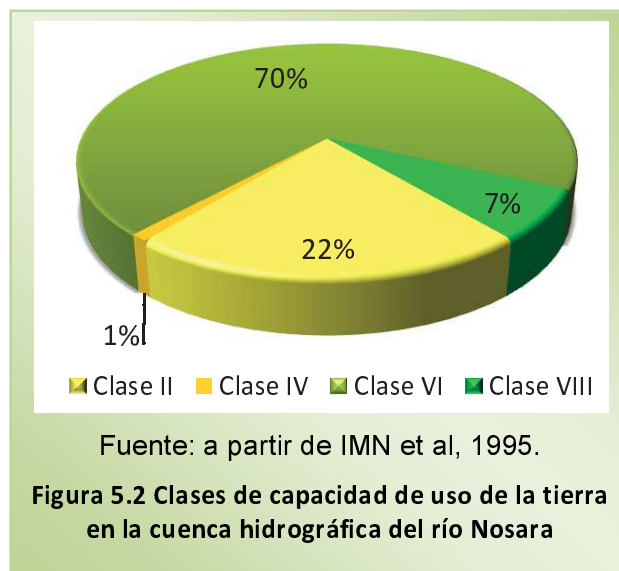


Figura 5.1 Clasificación del área de estudio según capacidad de uso de la tierra

La clase II de la capacidad de uso de la tierra afecta principalmente a las áreas de las depresiones tectónicas Caimital, Quirimán y Nosara, a la terraza fluvial, abarcando la cuarta parte del área de la cuenca hidrográfica del río Nosara (figura 5.2). Las áreas en la cuenca baja deben adicionalmente sujetarse a la Ley sobre la Zona Marítimo Terrestre, que establece una una la franja de 200 m. de ancho a todo lo largo de los litorales costarricenses (Asamblea Legislativa de Costa Rica, 1997), a las restricciones asociadas al Refugio de Vida Silvestre Ostional y las medidas de prevención y mitigación de emergencias para la zona sujeta a inundaciones.



La clase IV incluye parte de la zona de montañas (S4) y las colinas (S2), ocupando la mayor extensión en la cuenca. Las pendientes de estas áreas son del 35° en promedio y posee un relieve ondulado a muy ondulado.

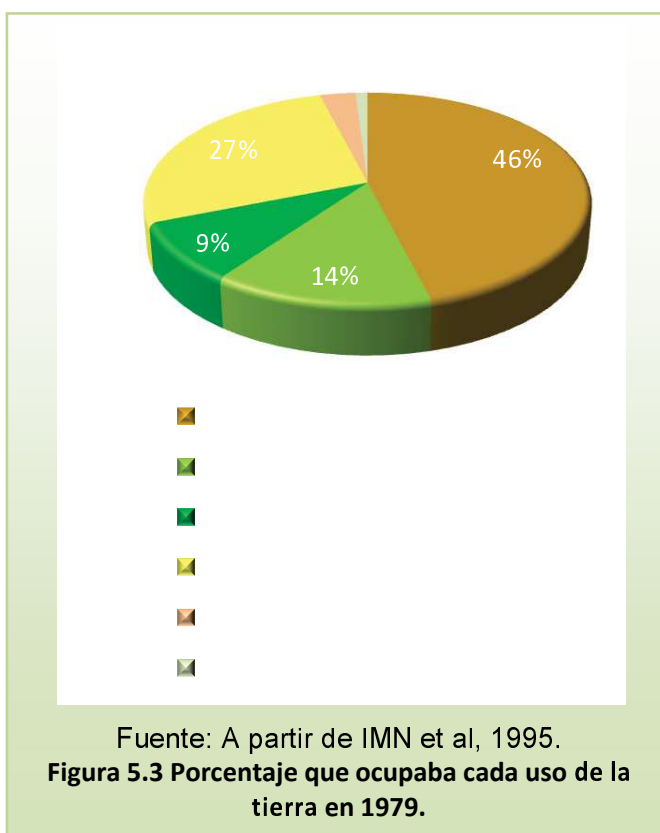
La clase VIII está compuesta por las cimas de las montañas (S4), formada por profundos valles estrechos y que posee pendientes entre los 35° y los 55°. Adicionalmente son parte de esta clase las franjas de protección alrededor del cauce de los ríos establecidas por la Ley Forestal 7575 de 1996. En esta Ley estableció una franja de protección de 15 metros en áreas rurales para terrenos que son planos y de 50 metros para quebrados (Zeledón, 2001). Con respecto a estas franjas de protección alrededor de los ríos, se realizó un cálculo a partir de las redes de drenaje y se determinó que ocupan 73,35 km², es decir, representan el 17,5% de la extensión de la cuenca y se traslapan con todas las áreas de clase de capacidad de uso.

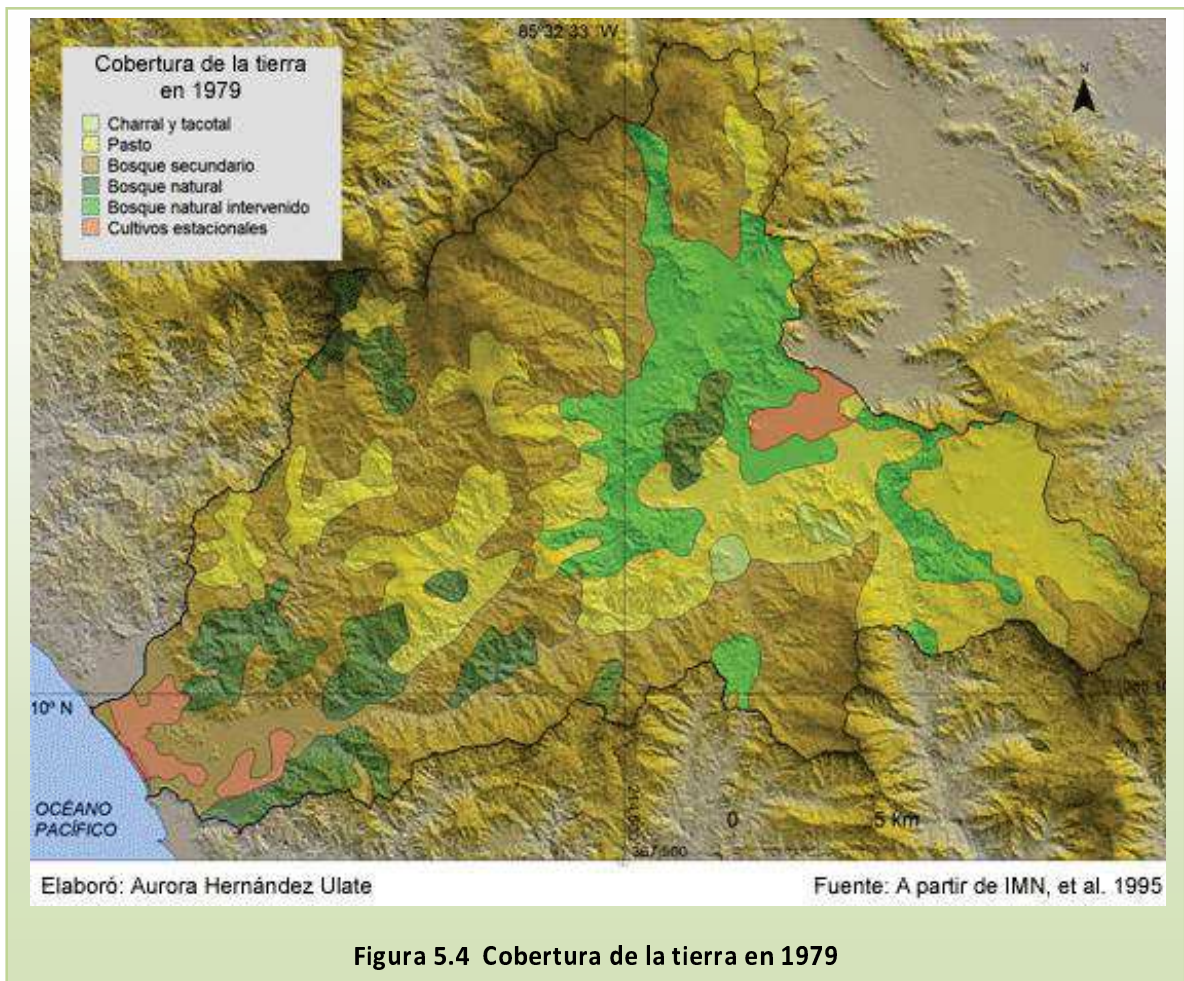
5.2 Uso de la tierra en la Cuenca hidrográfica del río Nosara

Los usos de la tierra en la cuenca hidrográfica del río Nosara se determinaron mediante la información cartográfica de 1979 y 1992 contenida en el Atlas del Cambio de Cobertura de la Tierra en Costa Rica a escala 1: 300.000, a los que se les comparó con la interpretación de las imágenes de satélite de 2004-2006 de Google Earth para la zona de estudio.

5.2.1 Usos de la tierra y conflictos de uso en 1979

La cartografía resultante permite apreciar como en 1979 el principal uso de la tierra era el asociado al bosque natural o con algún grado de intervención, el cual ocupa un 69% de la cuenca (figura 5.3). Es importante señalar que en este año la información mostró que el bosque natural cubría las colinas de baja altitud en la cuenca, que el bosque secundario se extendía cubriendo los flancos de los Cerros Esperanza y que los pastos abarcaban casi el 30% del área de estudio y principalmente cubrían la cuenca media y las laderas de la Fila Maravilla (figura 5.4).





Una sobreposición de la cobertura de la tierra en 1979 con la capacidad de uso de este recurso permite observar que en la cuenca hidrográfica del río Nosara el 80% del área se encontraba en una condición apropiada de uso. Las áreas que muestran conflictos en el uso de la tierra se caracterizan por encontrarse principalmente en la cuenca media y alta, en el área de la subcuenca hidrográfica del río Nosara y están asociadas a la presencia de pastos. En esta subcuenca abarcan 71 km², es decir, representan un 21% de su extensión, mientras que en la subcuenca del río Montaña representaban un 20% y en el caso de Quebrada Seca esta condición era de un 6% (figura 5.5).

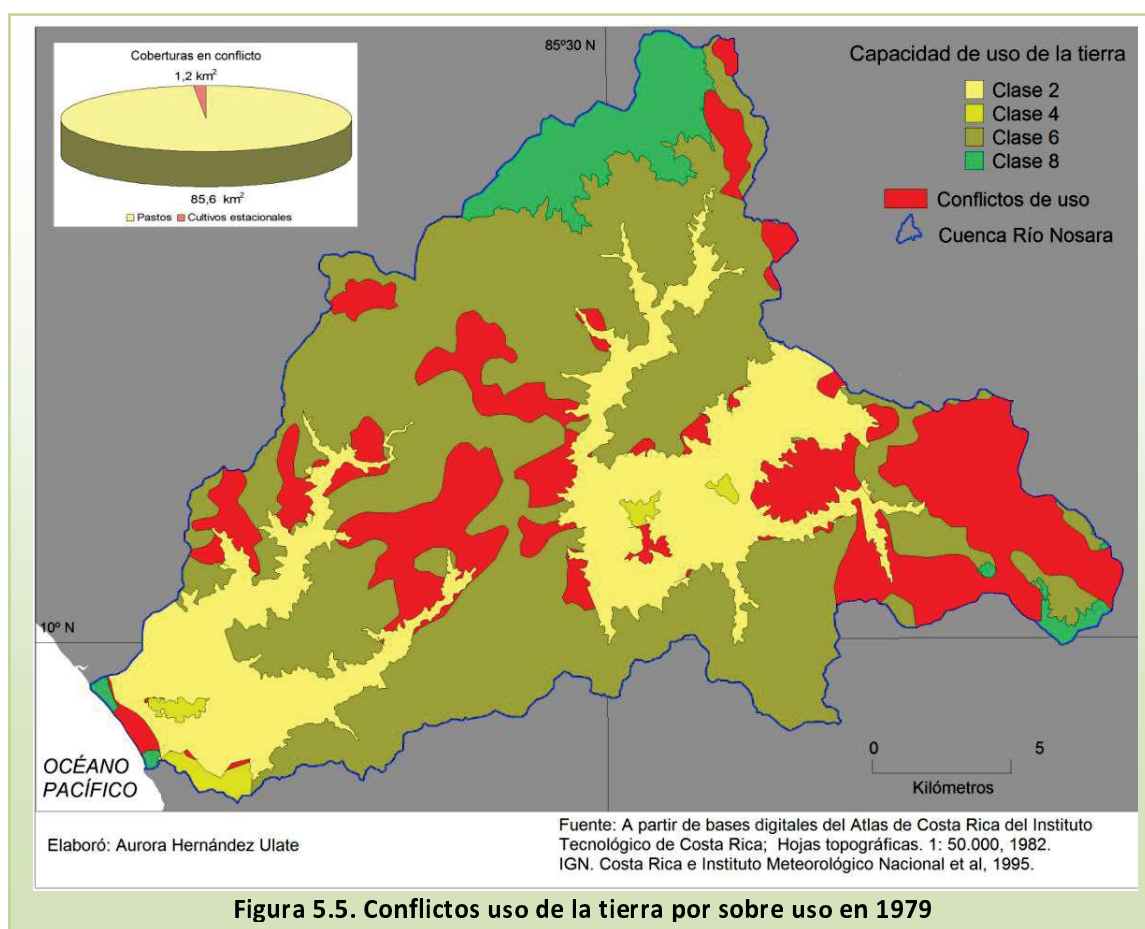
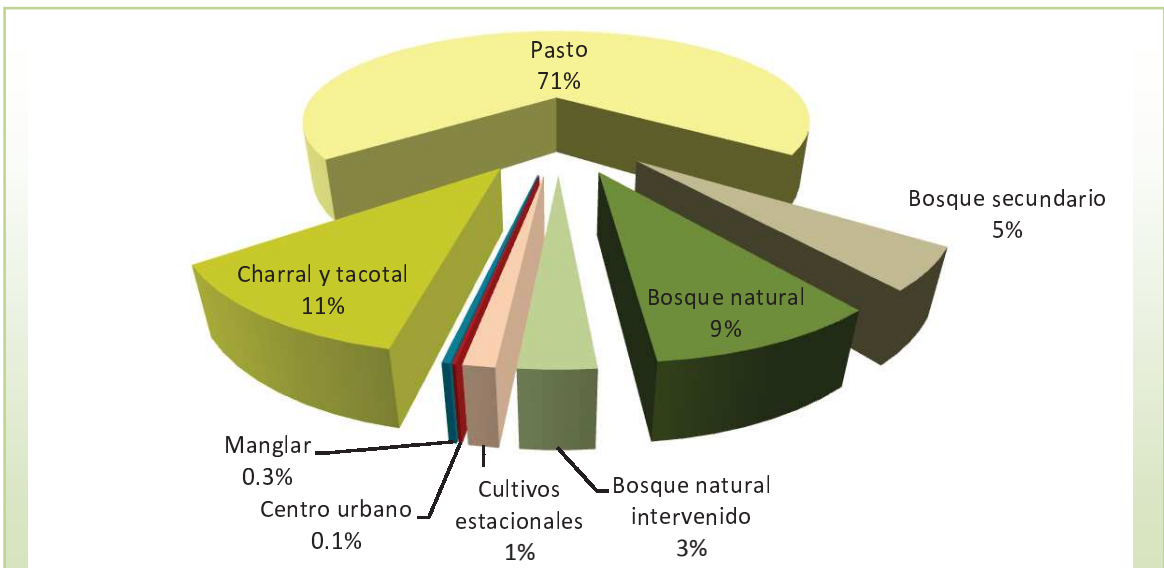


Figura 5.5. Conflictos uso de la tierra por sobre uso en 1979

5.2.2 Usos de la tierra y conflictos de uso en 1992

La cobertura de la tierra correspondiente a 1992 permite observar que el principal uso de la tierra en la cuenca hidrográfica del río Nosara eran los pastos (figura 5.6), los cuales ocupaban un 71% de la cuenca. Otras coberturas que se pueden apreciar en extensiones menores son los bosques naturales, naturales intervenidos y secundarios que sumados representan únicamente el 17% de la cuenca.

Esto significa que en 13 años las áreas con bosque fueron reemplazadas con pastos, principalmente y esto incluye las zonas clasificadas como áreas aptas para la protección en las zonas altas de las filas Esperanza, Cola de Gallo y Maravilla (figura 5.7). Adicionalmente, es importante apreciar como el área que cubrían los charrales y tacotales aumentó un 10% con respecto a 1979, mientras las áreas dedicadas a los cultivos estacionales disminuyeron y se aprecia un incremento de la urbanización en la cuenca.



Fuente: A partir de Instituto Meteorológico Nacional et al, 1995.

Figura 5.6 Porcentaje del área de la cuenca que ocupaba cada uso de la tierra en 1992

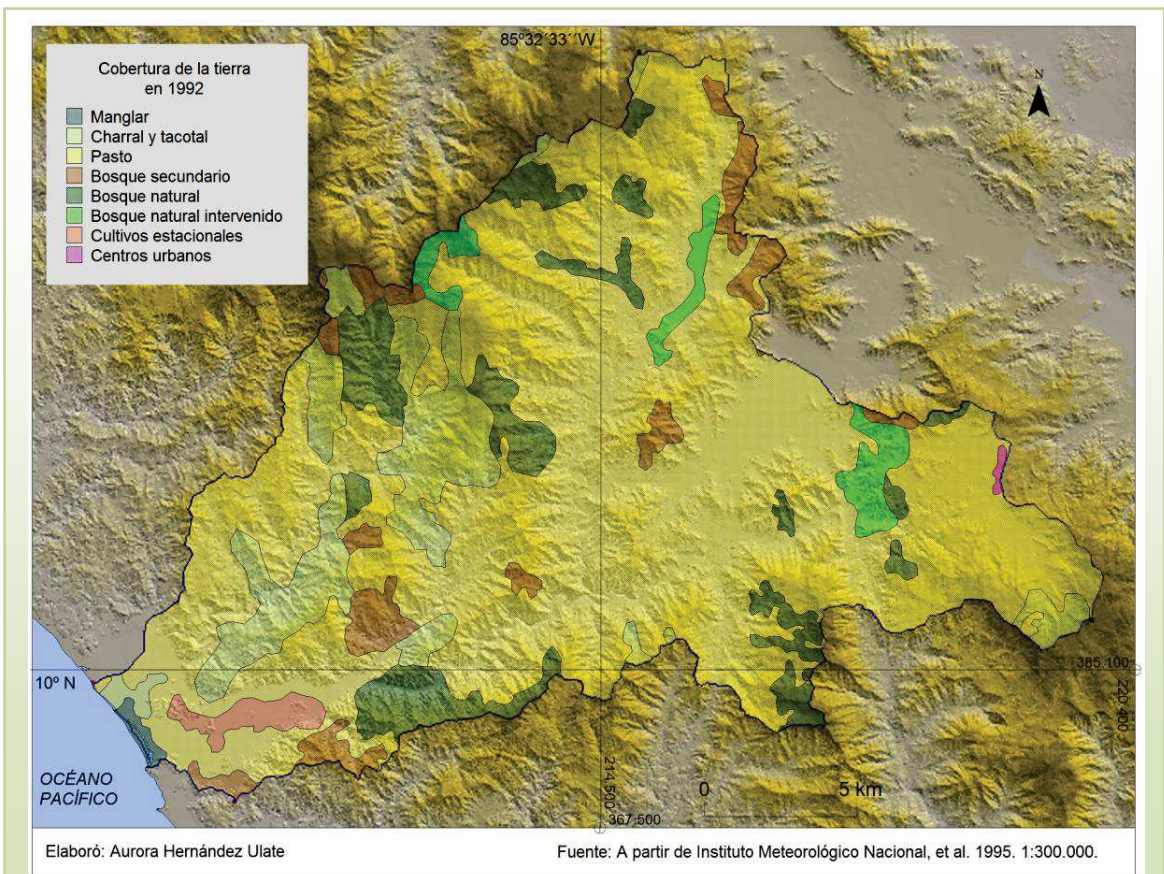
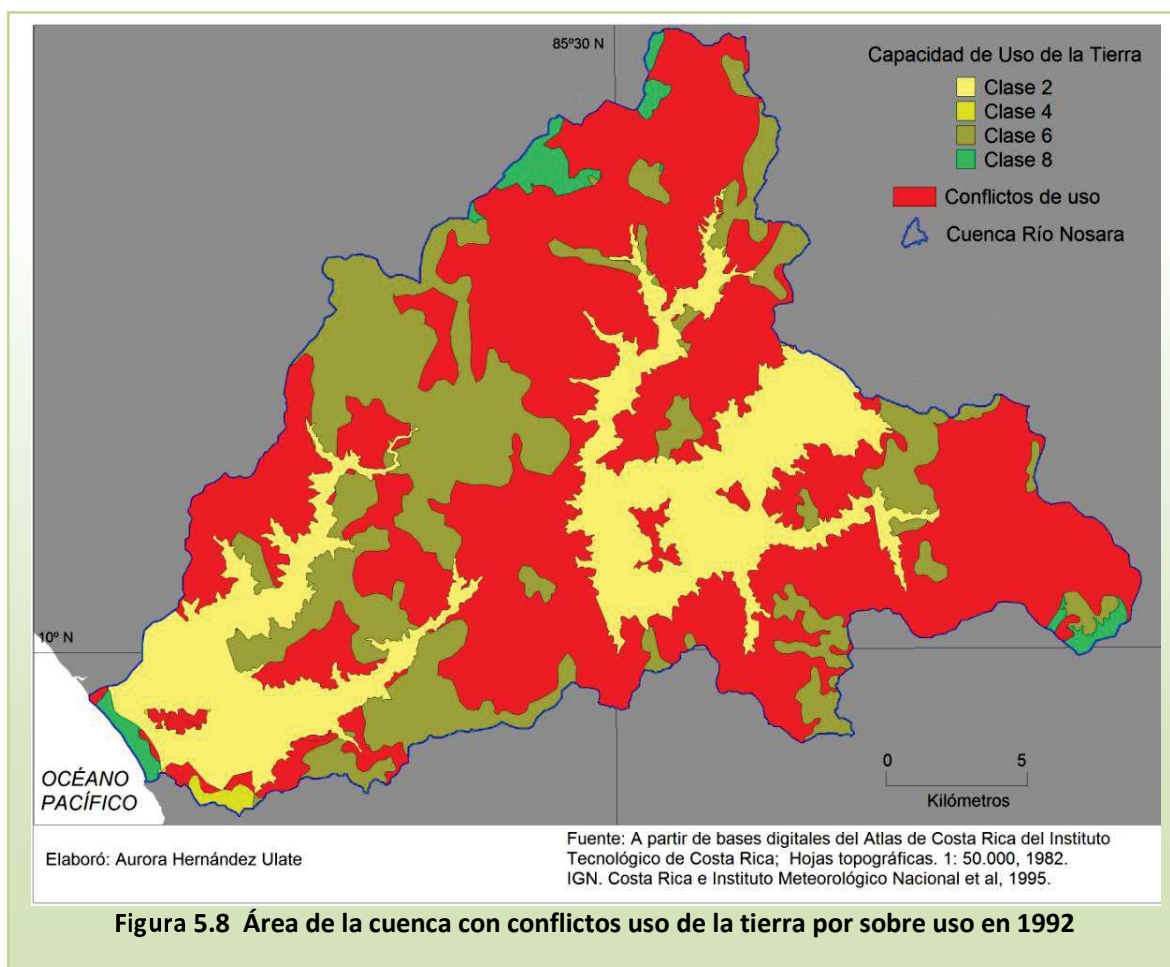


Figura 5.7 Cobertura de la tierra en 1992

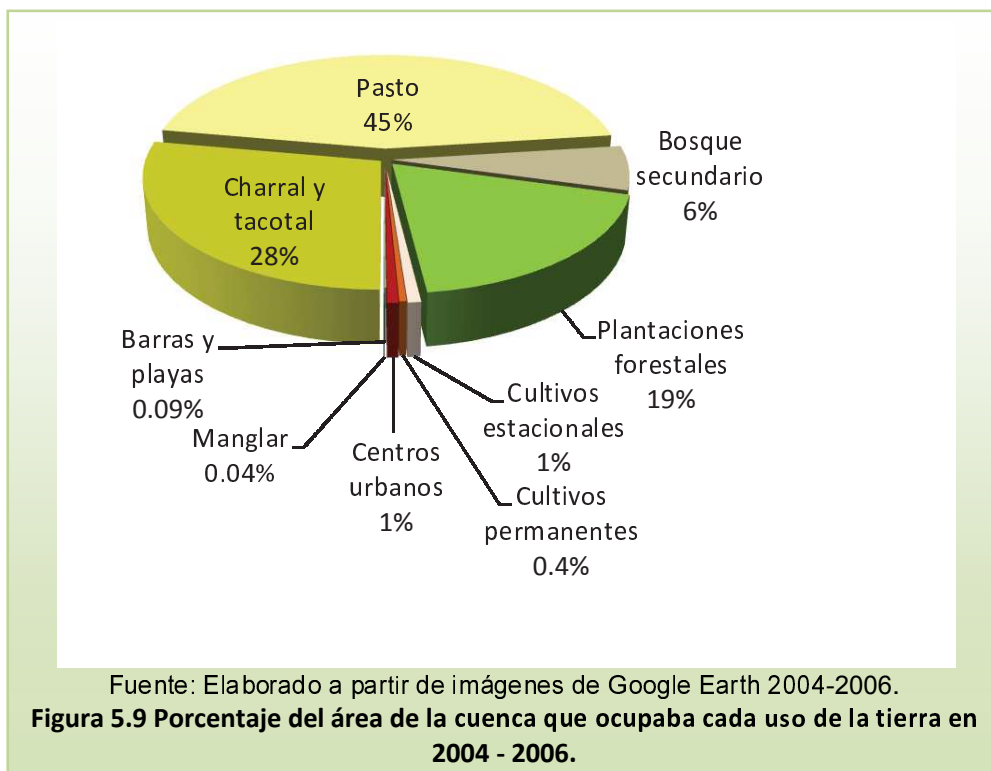
Las coberturas de IMN et al (1996), permiten apreciar como el incentivo que se generó para el crecimiento de la actividad ganadera extensiva en las décadas de 1970 y 1980 (Salazar, 2003), produjo una transformación casi total del paisaje de la cuenca. Esto dio lugar a un fuerte impacto de los procesos erosivos en las secciones altas y al agotamiento de la tierra. Un ejemplo de esto, es la parte alta de Hojancha, en la Fila Maravilla, la cual sufrió una remoción total de la cobertura forestal y ocasionó un impacto en las áreas de recarga, los ríos se secaron y la comunidad quedó sin fuentes de abastecimiento superficiales (Fundación Pro Reserva Montealto, 2009).

Una sobreposición de la cobertura de la tierra en 1992 con la capacidad de uso de este recurso permite observar que en la cuenca el 46,9% de la tierra se encontraba en una condición apropiada de uso (figura 5.8). Las áreas que muestran conflictos de uso de la tierra están situadas en la cuenca media y alta. Adicionalmente es importante señalar que con respecto a 1979 la condición de sobreuso fue más que duplicada, pues representa un 33,02% más que hace 13 años.

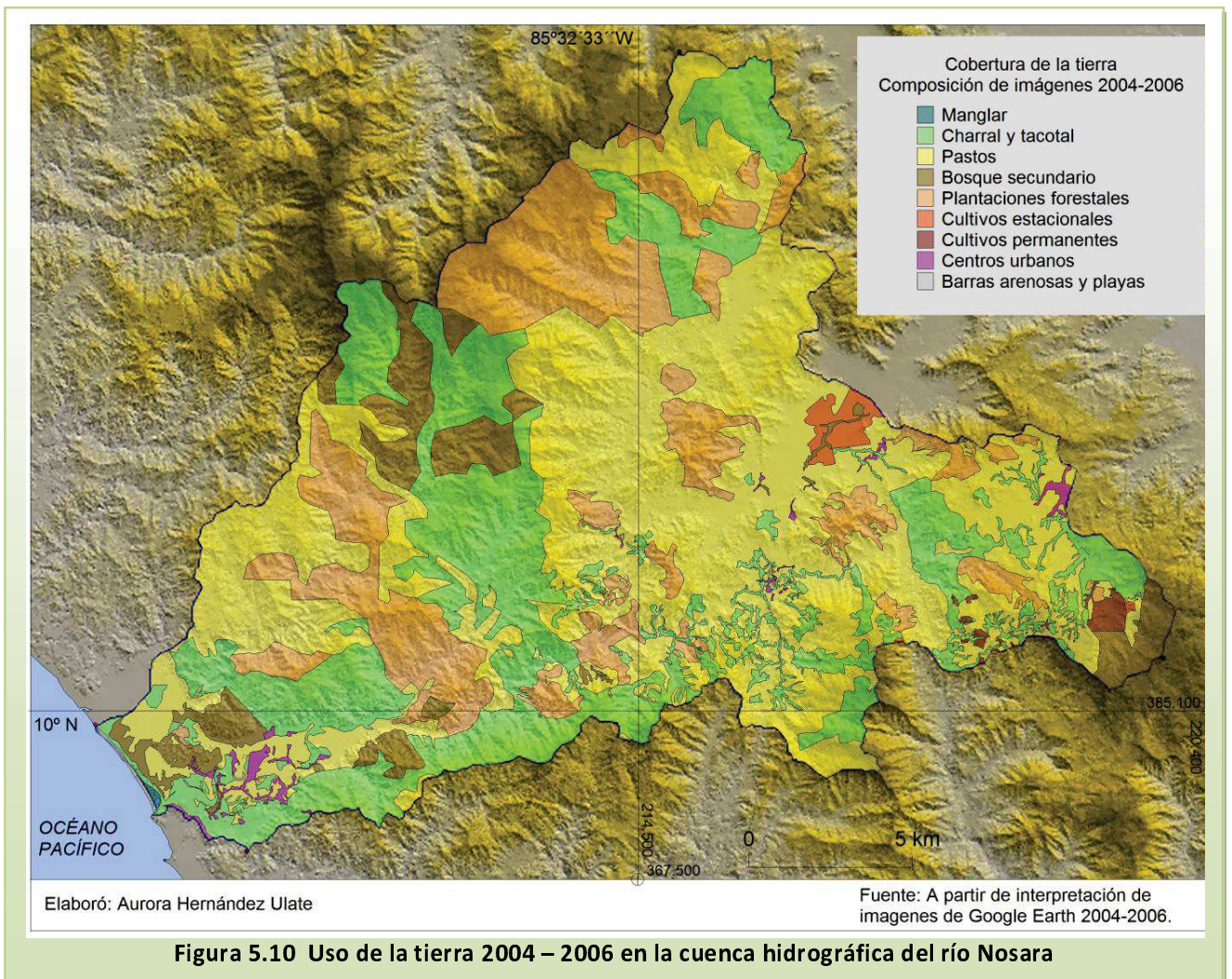


5.2.3 Usos de la tierra y conflictos de uso interpretados en la composición de imágenes de satélite 2004-2006

En la interpretación realizada a la composición de imágenes de satélite del 2004 y 2006, fue posible observar que los pastos siguen siendo la cobertura principal, sin embargo han disminuido con respecto a 1992 en 178 km², lo que implica que cubren un 42,6% de la cuenca hidrográfica del río Nosara. Mientras que los bosques naturales han desaparecido y solo fue posible interpretar áreas correspondientes al bosque secundario, las cuales ocupan 26,6 km², es decir, representan un 6,3% del área de la cuenca (figuras 5.9 y 5.10). También, se puede notar en esta interpretación que parte de las áreas cubiertas con pasto dieron lugar a las plantaciones forestales.

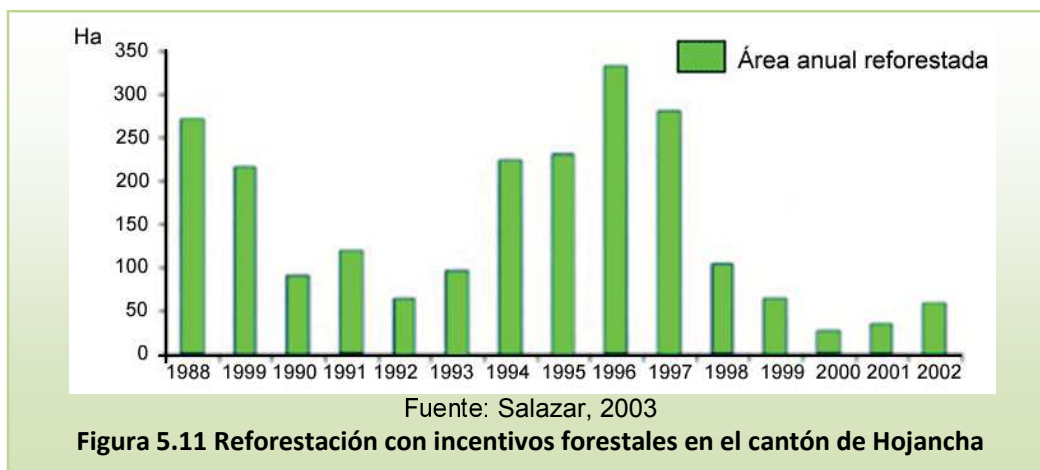


Es importante notar el avance de las áreas cubiertas con charrales y tacotales (figura 5.10), de los lugares urbanizados siguiendo patrones lineales a lo largo de los segmentos de las vías que atraviesan la cuenca que comunican a Nicoya con Hojancha y Nicoya con Sámara. Dadas estas transformaciones, el porcentaje de la cuenca en condición de sobre uso ha disminuido con respecto a 1992 y representó 34% del área de la cuenca para el período 2004-2006.

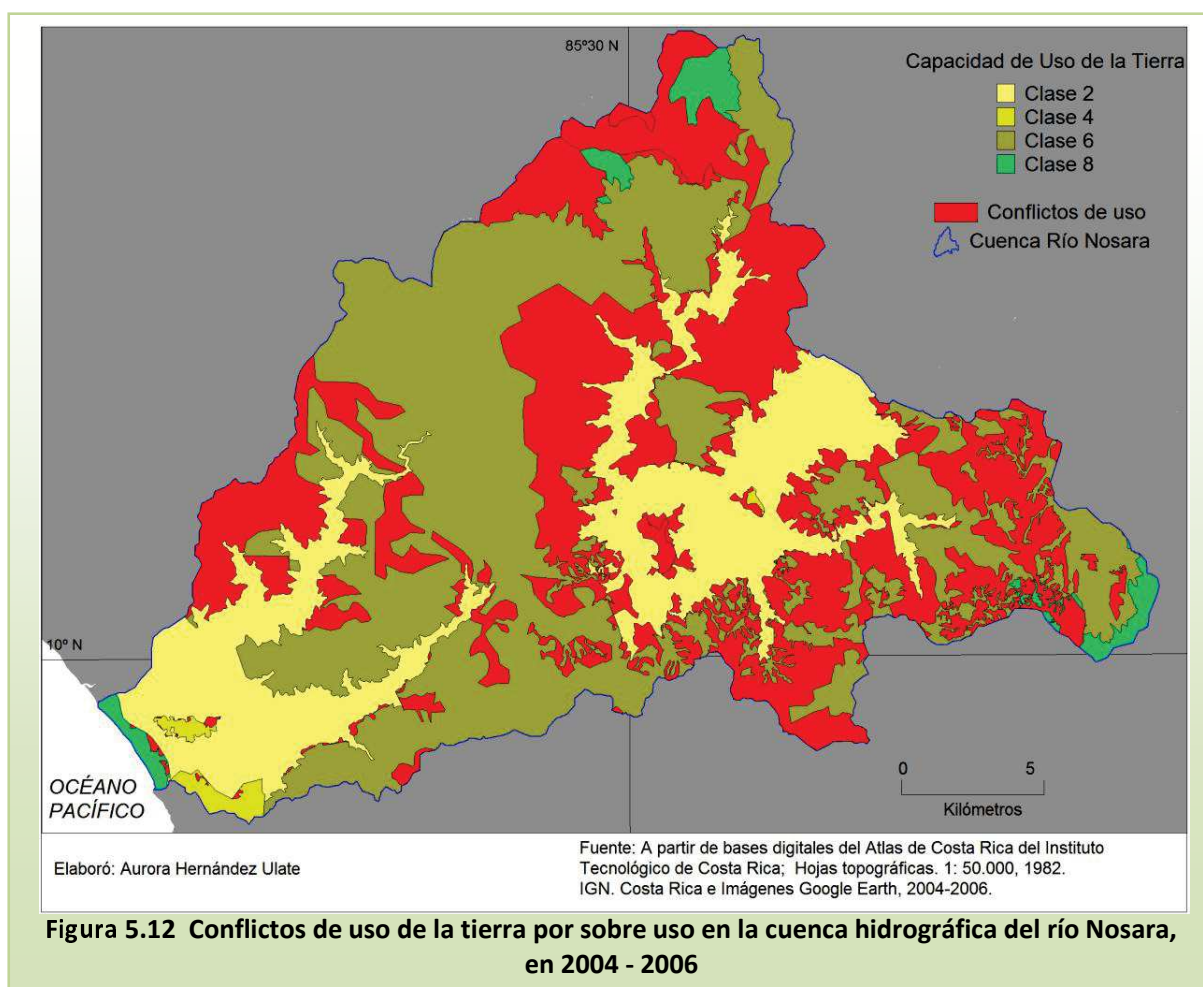


Los cambios en el uso de la tierra tienen como principales causas el decaimiento de la actividad ganadera y el aumento de áreas construidas. Estas últimas pueden estar asociadas al auge del desarrollo turístico en la Región Chorotega, el cual ha intensificado el mercado de tierras, la urbanización y ha ofrecido otra fuente de empleo.

En la parte alta de la cuenca la transformación del uso de de la tierra se manifiesta principalmente en un crecimiento de los usos urbanos principalmente del núcleo de Hojancha y de la recuperación de áreas que estaban bajo pastoreo y que ahora aparecen como tacotales, bosques secundarios o áreas bajo planes de reforestación (figura 5.11). Uno de los cambios de uso más significativos está asociado a la constitución de la Zona de protección del río Nosara que luego pasaría a llamarse Zona Protectora Montealto.



En campo fue posible observar los taludes de estos valles casi carentes de cobertura forestal en la sección oeste de la cuenca y afectados por los procesos erosivos, principalmente la acción hidráulica. Después de comparar la cobertura de la tierra de 1979, de 1992 y la interpretación resultante de la composición de imágenes 2004-2006, es posible señalar que en la parte alta de la cuenca la cobertura boscosa ha dado paso a pastos y plantaciones forestales. También existe una disminución de las áreas con conflicto de uso (figura 5.12).



Es importante señalar que desde la interpretación correspondiente a 1992 se ha experimentado un cambio positivo en términos de un aumento en las áreas con cobertura forestal, tacotales y bosques secundarios, lo cual puede estar relacionado con los cambios legales vinculados a las actividades forestales de las últimas dos décadas (cuadro 5.2). Aunado a la disminución de la práctica de las quemas se encuentra vinculada a tres aspectos, por una parte existe un aumento de las áreas dedicadas a las actividades agrícolas, las cuales son pequeñas parcelas dedicadas principalmente a la producción de café, maíz y algunas hortalizas; existe un aumento de la conciencia ambiental en la población y se han promovido las actividades de reforestación y plantación forestal (Salazar, 2003).

Cuadro 5.2 Leyes relacionadas con las actividades de reforestación, las plantaciones forestales y que regulan el cambio de uso de la tierra en bosques

Año				
1986	Ley 7032	Forestal	Nº	Creación del Certificado de Abono Forestal Creación del Certificado de Abono Forestal Adelantado que facilitó el acceso a pequeños y medianos productores y organizaciones.
1990	Ley 7174	Forestal	Nº	Creación del Certificado de Protección del Bosque que incentivó actividades de protección. Se amplía la opción de realizar manejo forestal.
1996	Ley 7575	Forestal	Nº	Creación del Programa de Pago por Servicios Ambientales. Reglamenta la prohibición del cambio de uso.

Fuente: Salazar, 2003.

5.3 Comportamientos ambientales y percepciones del tema ambiental relacionado con el uso de la tierra y el recurso hídrico en la Cuenca del Nosara

El uso de la tierra es un aspecto que ha sido controlado en sus cambios y en su condición de uso por las oficinas regionales del Ministerio de Agricultura y Ganadería (MAG). En el caso de Hojancha, en el MAG señalaron que las tierras con pendientes más altas y con una clara orientación para el desarrollo del bosque o forestales están siendo dejadas en descanso por los agricultores de la región.

En el caso de las áreas de pastoreo, estas han disminuido en los últimos diez años y se han mejorado las prácticas para la producción de forraje para la alimentación de los animales y el

manejo de pastos. Esto ha conllevado a una recuperación de las áreas cubiertas con pastos y a un mayor control de los procesos erosivos en la sección alta de la subcuenca hidrográfica del río Nosara. Se ha estimado que los incendios forestales han disminuido, pues eran frecuentes en las décadas de 1960 y 1970, cuando eran empleados como un medio para abrir áreas de pastura. No se cuenta con datos históricos que permitan cuantificar los cambios anuales, pero si se encuentra registrado que entre 1988 y el 2002 se quemaron 16,22 km² (Salazar, 2003).

En términos generales, los funcionarios del MAG en esta área observan una marcada orientación en la comunidad hacia la recuperación de áreas que ha permitido una estabilización de los procesos erosivos en la sección alta de la cuenca y que ha repercutido desde su perspectiva un aumento en el caudal del río y en su capacidad de transporte de sedimentos. Esto se ha logrado por capacitaciones a los productores agropecuarios en manejo de pastos y producción de forrajes, las cuales se realizan en las mismas fincas y con parcelas demostrativas. Adicionalmente, los líderes comunales en esta área de la cuenca se han esforzado por concretar la Zona de Protección de Monte Alto, la cual nació de la intención de proteger la sección alta del río Nosara, como un medio para garantizar el abastecimiento de agua potable de algunas comunidades del cantón de Hojancha.

Una parte de la sección media y baja de la cuenca es asistida por la Oficina Regional de MAG en Nicoya. El panorama ambiental identificado por el director de esta oficina, Ronald Mora, es totalmente distinto al de Hojancha. Él señaló que en la sección de la cuenca hidrográfica del río Nosara que pertenece al cantón de Nicoya es posible apuntar que los problemas más acentuados se relacionan con la deforestación, el mal manejo de suelos y la comercialización de madera e identifica como la principal causa de estos problemas las labores de cultivo y de producción pecuaria no adecuadas para las condiciones ambientales de la cuenca.

El daño ambiental de estos problemas se manifiesta como procesos erosivos, siendo las áreas más afectadas las partes más altas de la cuenca media y las laderas y el río Nosara, pues en él se concentra este impacto en forma de sedimentación. Aunque considera que los problemas de erosión en las fincas son frecuentes, es importante señalar que el MAG trabaja en cambios en la ganadería y en el cultivo de las hortalizas como medios para controlar este daño. Sin embargo, aún persisten prácticas nocivas como la eliminación del tacotal y prender fuego a las laderas y potreros.

Como parte de la capacitación la Oficina de Nicoya del MAG, realizan días de campo demostrativos de técnicas de producción de granos básicos, hortalizas y ganado, con la finalidad de orientar el desarrollo de prácticas productivas más sostenibles. Estos se realizan una vez al año y permiten a los productores del Cantón conocer mejores prácticas para evitar la erosión y potenciar el aumento en la producción. Según su percepción solo aproximadamente el 60% de los agricultores aplican las técnicas de conservación de suelos y considera el que mayor obstáculo que enfrentan los agricultores para aplicarlas es la falta de conocimiento de las técnicas y esto hace que el trabajo en los días de campo y demostraciones sean importantes, pero debe aumentarse la educación de la población en general en los temas ambientales.

Es interesante apuntar que las personas entrevistadas en la cuenca hidrográfica del Nosara pertenecientes a los acueductos no perciben graves problemas ambientales en las comunidades. En este sentido, han señalado que los problemas ambientales más serios son los relacionados con el manejo de desechos sólidos, pero en cuanto al recurso hídrico y los suelos señalaron que no advierten ningún problema. Adicionalmente, es necesario señalar que si son conscientes del valor del agua para la comunidad y su preocupación la manifiestan relacionada con la posibilidad de tener un abastecimiento permanente de agua. En comunidades como Caimital es frecuente observar rótulos que promueven valores ambientales como la conservación del bosque y la protección de los ríos.

Capítulo VI

Modelo Cualitativo de la dinámica erosión/sedimentación en la cuenca hidrográfica del río Nosara

En la cuenca hidrográfica del río Nosara existe una escasez de información que impide conocer el tipo de procesos erosivos que está afectando la cuenca, pero también las áreas expuestas a procesos de erosión y de sedimentación. Esta falta de información 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) Que las autoridades locales encargadas del ambiente, del desarrollo agropecuario y del ordenamiento del territorio dispongan de datos que les permitan tomar decisiones para orientar los usos de la tierra.
- b) Que se pueda realizar una evaluación objetiva de las tendencias de riesgo de erosión/sedimentación, que permita desarrollar una estrategia de uso sostenible de los recursos naturales y de educación ambiental en la cuenca hidrográfica del río Nosara.

En este capítulo se aborda la aplicación del modelo MES que permite, a través de la combinación de capas de información, obtener como resultado una estimación de las áreas que son susceptibles a la erosión o sedimentación. Este modelo intenta responder a los vacíos de información para la toma de decisiones en la cuenca y lo hace a través de los datos disponibles de textura y profundidad de los suelos, la geomorfología, la pendiente, la precipitación y cobertura de la tierra generados para el área de la cuenca hidrográfica.

6.1 Aplicación MES

Para la aplicación MES fue necesario reclasificar el contenido de los datos según los valores definidos en la metodología para su procesamiento. Las capas temáticas y sus valores aparecen a continuación:

Textura. La información de base para la capa de textura provino del trabajo de campo realizado, de las bases de información suministradas por la Escuela de Geografía de la Universidad de Costa Rica y el Atlas de Digital de Costa Rica del ITCR (2008) (figura 6.1).

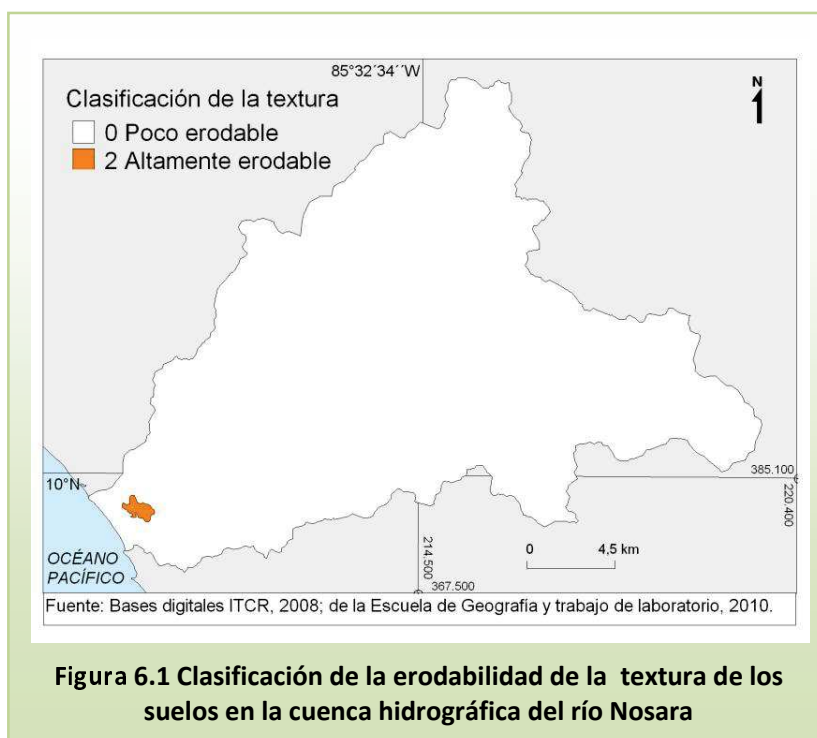


Figura 6.1 Clasificación de la erodabilidad de la textura de los suelos en la cuenca hidrográfica del río Nosara

El 99,7% de la cuenca corresponde a texturas arcillosas, arcillo arenosas

y arcillo limosas, las cuales se clasifican como poco erodables. Esta condición se manifiesta en la zona de estudio como erosión laminar y puede observarse la formación de pedestales.

En el cuadro 6.1 aparecen los datos correspondientes al área que cubre cada una de estas categorías en la cuenca hidrográfica del río Nosara. Casi toda la cuenca corresponde a la categoría de Poco erodable, a excepción de las colinas residuales (S10) en la sección baja de la cuenca que tienen una textura limosa.

Cuadro 6.1 Clasificación de la textura de los suelos

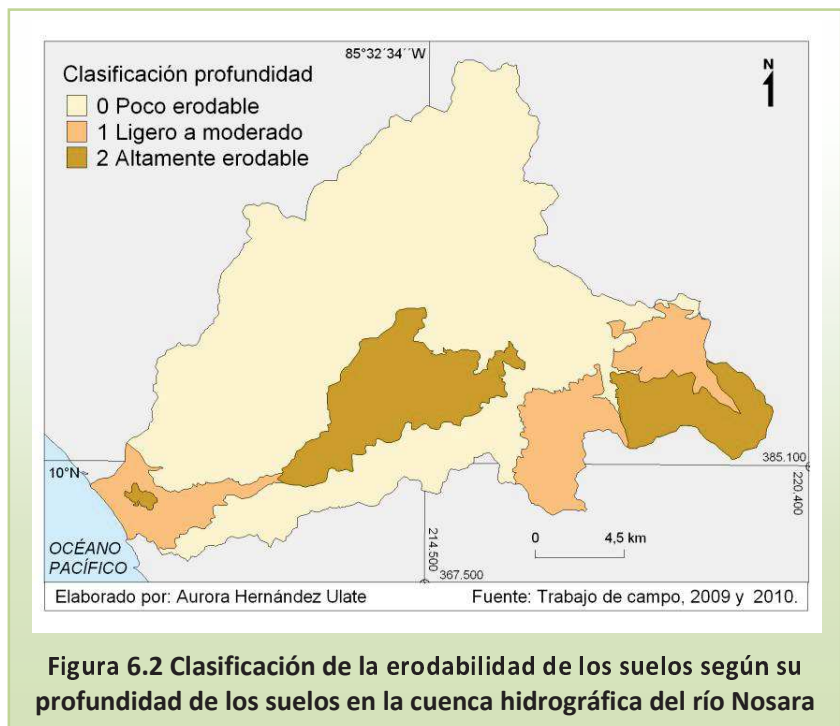
		Área	
Poco erodable	0	417,6	99,7
Altamente erodable	2	1,117	0,3
		418,7	100

Profundidad del suelo. En la cuenca hidrográfica del río Nosara hay secciones que poseen suelos pobremente desarrollados o ausentes, como sucede en la parte baja de la cuenca (cuadro 6.2). Otros sectores, poseen suelos que alcanzan un metro o más de desarrollo como en las laderas de las Fila Maravilla, parte de las laderas de la Fila Esperanza y las colinas de la cuenca media.

Cuadro 6.2 Clasificación de la profundidad

	Valor de la clase		
Poco erodable	0	294,2	70,2
De ligeramente a moderadamente erodable	1	55,4	13,2
Altamente erodable	2	69,2	16,5
		418,8	99,9

Estos sectores menos erodables, por la profundidad de sus suelos, ocupan el 70% del área de la cuenca (figura 6.2) y forman parte de ellos las UG correspondientes a las montañas (S4), las colinas (S2) y la meseta (S5); mientras que el sector altamente erodable, cubre el 16% de la cuenca y abarca la Fila Maravilla (S4), Fila Santa Elena (S2) y las colinas residuales (S10).

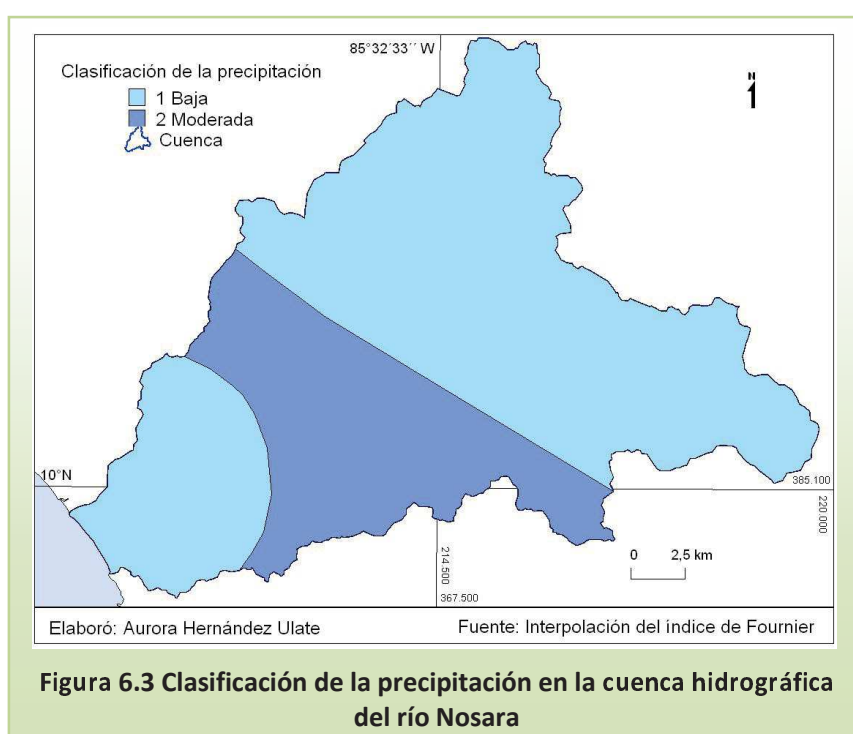


Precipitación. La capa de precipitación muestra las áreas resultantes de la interpolación de los datos de los índices de Fournier (FI) correspondientes a las tres estaciones hidrometeorológicas cercanas a la cuenca: la Estación Nosara, la Estación Garza y la Estación Nicoya. Los índices de Fournier calculados para cada una de estas estaciones, que posteriormente fueron utilizados para la interpolación, se le asignó el siguiente valor de clase (cuadro 6.3):

Cuadro 6.3 Cálculo del Índice de Fournier

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

La interpolación de los datos fue necesaria 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 (cuadro 6.4) (figura 6.3):



Cuadro 6.4 Clasificación de áreas según el índice interpolado de Fournier

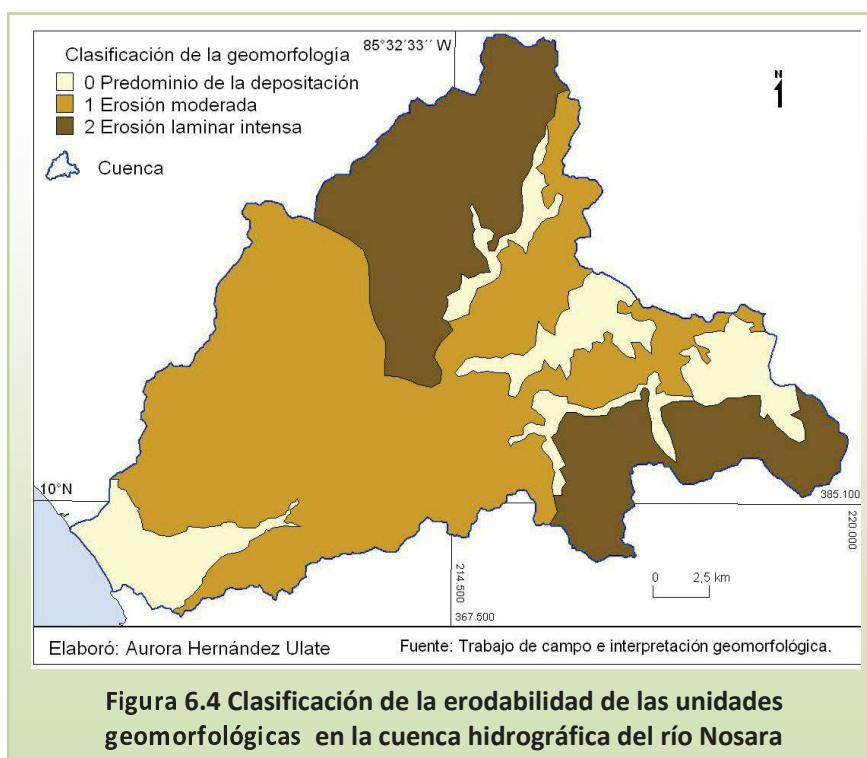
Descripción de la clase	Clasificación resultante de la interpolación	Valor de la	Área	%
Baja	71,08 - 90	1	299,86	71,6
Moderado	90 - 120	2	118,9	28,4
Total			418,8	100

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 el 54% son susceptibles a sufrir una erosión moderada y el 30% restante, a sufrir erosión intensa (cuadro 6.5)

Cuadro 6.5 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 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 intensa.	2	125,4	29,9
Total		418,8	100

Las áreas que favorecen un predominio de la depositación son las planas o plano onduladas en las depresiones tectónicas (S13) Caimital, Quirimán y Nosara y el área de la meseta (S5). Las áreas clasificadas como susceptibles a sufrir una erosión intensa son principalmente las montañas (S4); mientras que en el sector de colinas (S2) solo considerando el factor de forma, la erosión corresponde a moderada (figura 6.4).



Pendiente. La pendiente es una variable sumamente importante para el arranque y transporte de partículas por el agua. Para efectos de la aplicación del MES se ha clasificado la pendiente en cuatro clases que consideran su asociación con los procesos erosivos (figura 6.5). Sin embargo, con respecto a la pendiente, es pertinente señalar que solo se pueden observar claramente las zonas de sedimentación asociadas a las depresiones tectónicas (S13) y a la meseta (S5). En las otras áreas posiblemente la poca claridad con que se pueden señalar tendencias de pendientes para clasificaciones de UG, se debe a los distintos episodios de levantamiento del relieve en la cuenca, lo que ha producido el rejuvenecimiento de las formas y la antigüedad de muchas de estas, que aparecen sumamente desgastadas (figura 2.12, página 32).

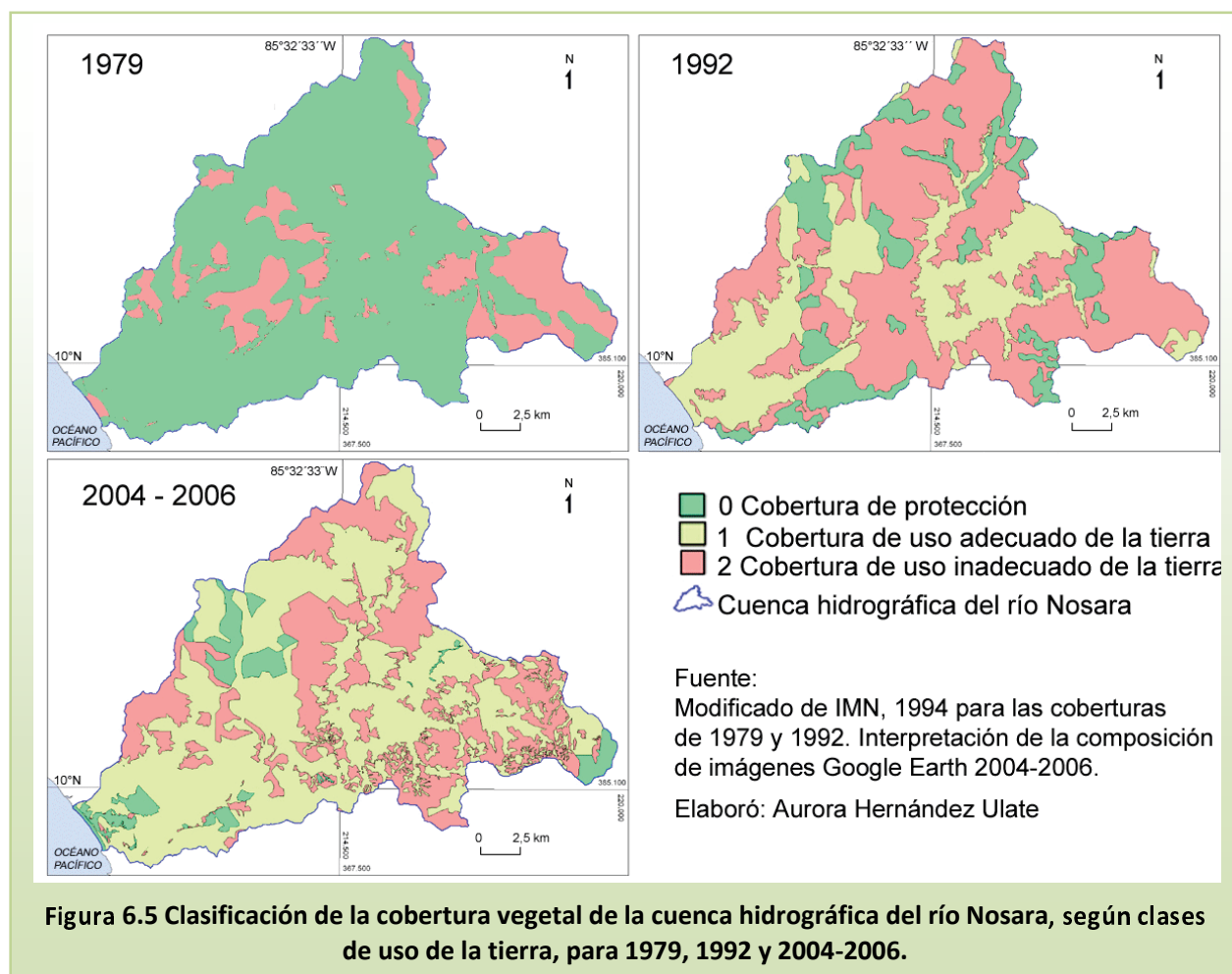
Cobertura vegetal. Esta variable está relacionada con el tipo de protección que brinda la cobertura vegetal a los suelos y clasifica esta relación en cobertura de protección, de uso adecuado y uso inadecuado. Esta última se refiere a las áreas que están siendo sobreutilizadas de acuerdo con su capacidad de uso. La cobertura vegetal como variable independiente, permite distinguir cambios en la dinámica erosión/sedimentación, de acuerdo al cambio la cobertura para un año determinado. En el área de estudio se utilizan las coberturas de 1979 y 1992 con datos del IMN (IMN et al, 1996) y la interpretación de la imagen 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 y las zonas clasificadas como altamente erosionables por su textura y que abarcan las depresiones tectónicas de Caimital, Quirimán y Nosara (cuadro 6.6).

Cuadro 6.6 Clasificación de la cobertura de la tierra en la cuenca hidrográfica 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

El resultado de la interpretación de la cobertura para el 2004-2006, mostró que el 60% del área de la cuenca hidrográfica del río Nosara se encuentra bajo la categoría 1, es decir, que son áreas que se encuentran con un uso adecuado de la tierra, mientras que 34% se encuentran sobreutilizadas. Solo un 6% del área total se encuentra bajo protección o con bosque (figura 6.5). Se puede apuntar que el área central de la cuenca y las áreas de las depresiones tectónicas, presenta en este mapa mayor área bajo cobertura de protección.



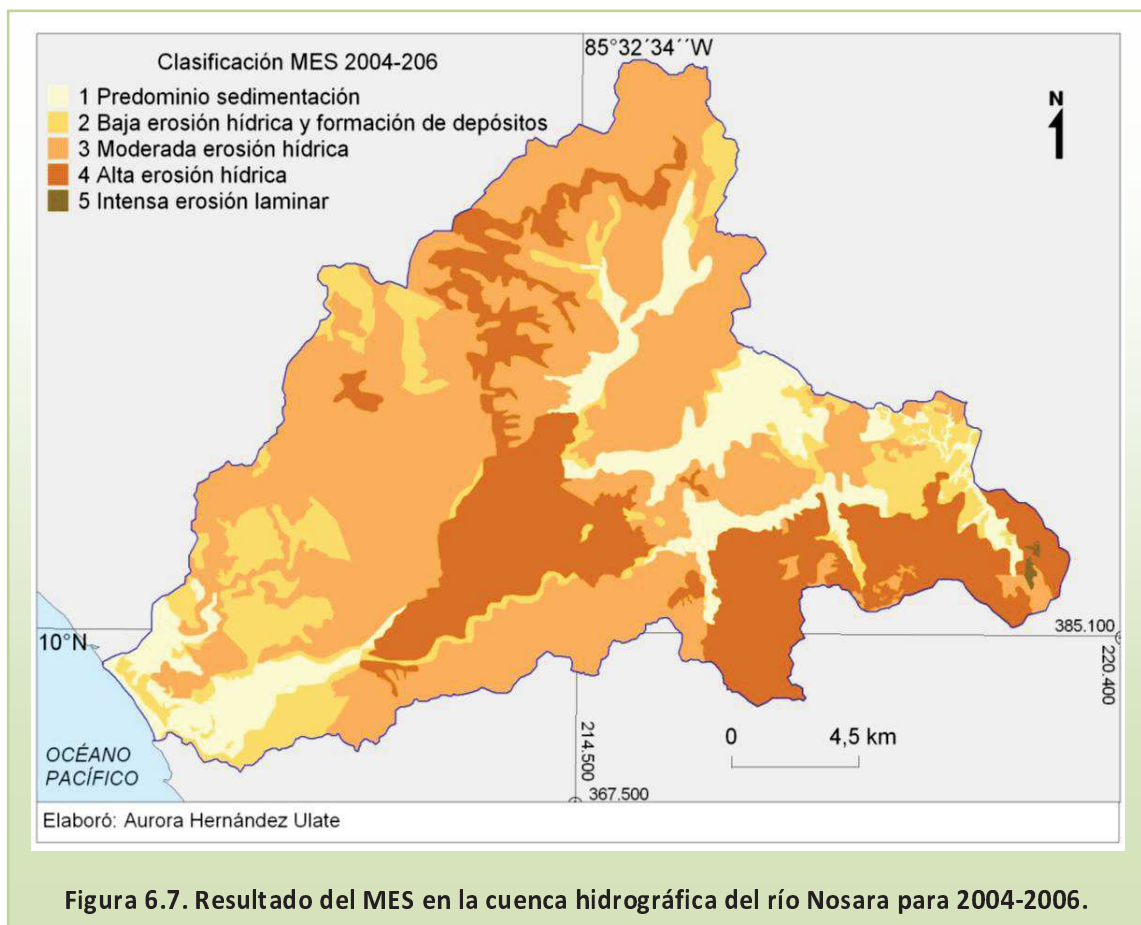
6.2 Reflexión de los resultados de la aplicación MES

La aplicación MES muestra las áreas susceptibles a presentar erosión y sedimentación en la cuenca hidrográfica del río Nosara. Estas aparecen clasificadas en cinco rangos que muestran los procesos de erosión o sedimentación (cuadro 6.7):

Cuadro 6.7 Rangos resultantes de la aplicación MES

Clase SIG	Simbología
a 10 11 a 15	1 Áreas de sedimentación o sin erosión evidente.
	2 Áreas de baja erosión hídrica y formación de depósitos.
	3 Áreas de erosión hídrica moderada.
	4 Áreas de alta erosión hídrica.
	5 Áreas de intensa erosión hídrica.

Los resultados de la sobreposición de las capas de información permitió generar tres mapas (figuras 6.6, 6.7 y 6.8) que representan la dinámica de la erosión y la sedimentación para la cuenca hidrográfica del río Nosara en tres momentos: en 1979, en 1992 y en el 2004 – 2006.



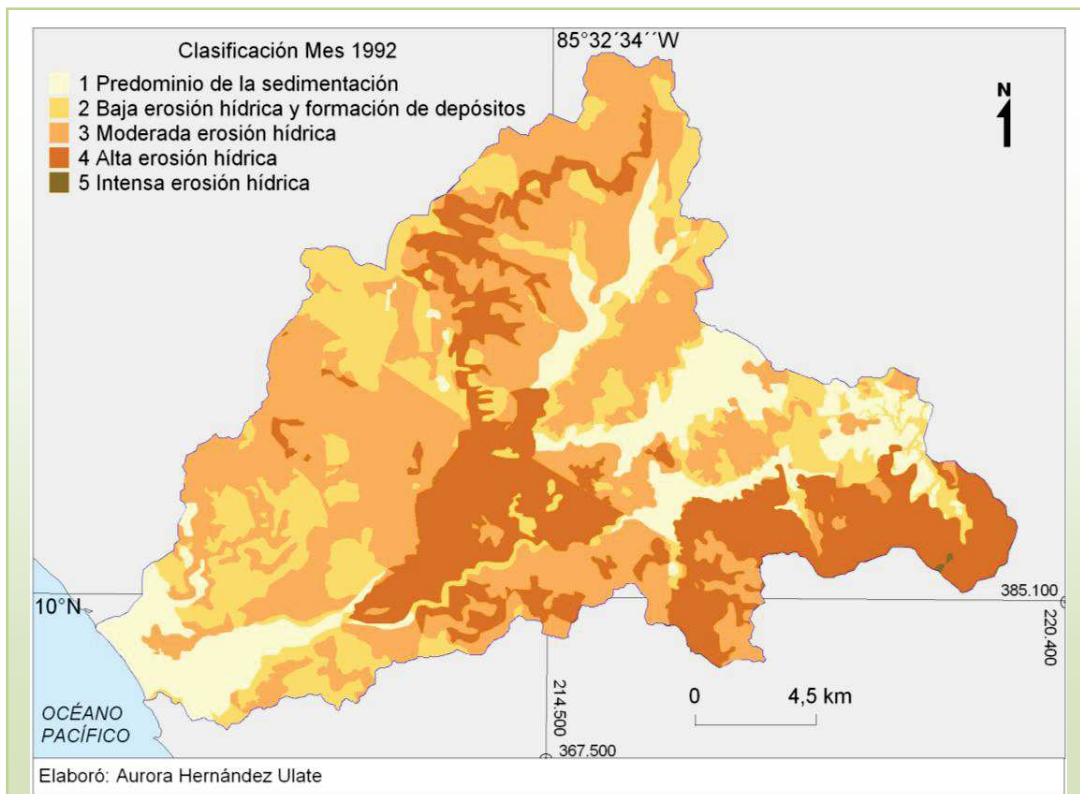


Figura 6.8 Resultado del MES en la cuenca hidrográfica del río Nosara para 1992

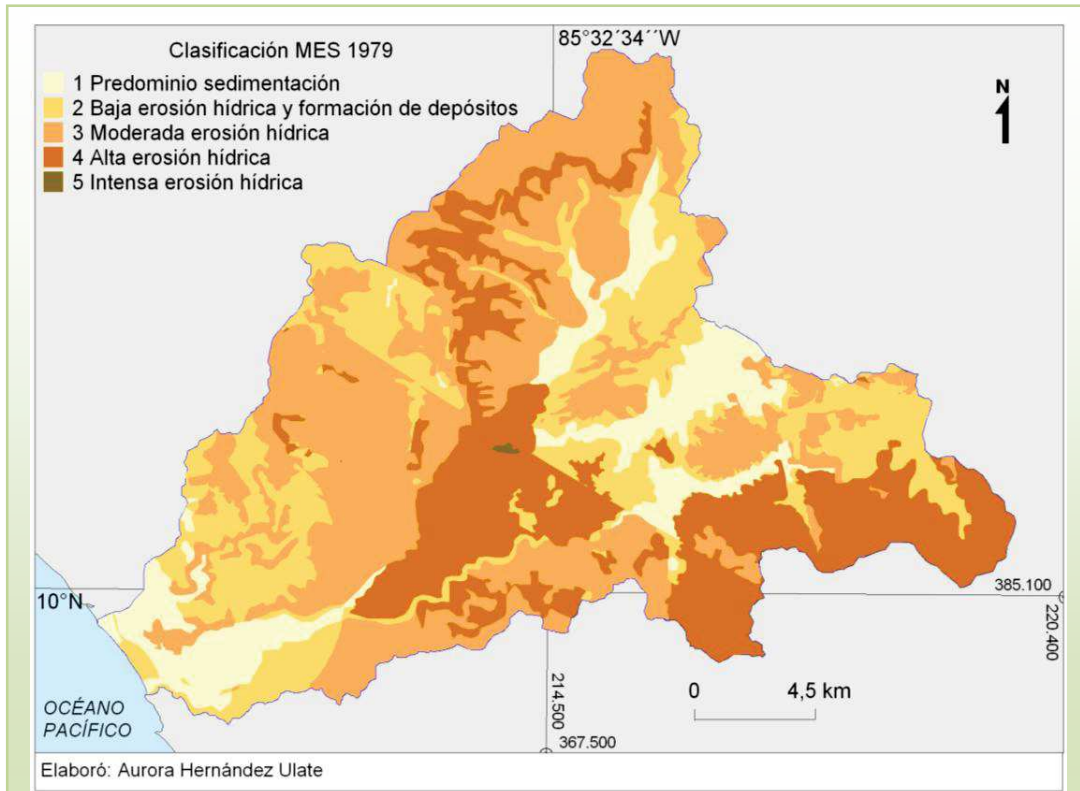


Figura 6.9 Resultado del MES en la cuenca hidrográfica del río Nosara para 1979.

Los resultados obtenidos en km² y en forma de porcentajes de cada una de las clases analizadas para estos tres momentos de estudio se aprecian en el cuadro 6.8.

Cuadro 6.8 Extensión de cada clase analizada en la cuenca hidrográfica del río Nosara.

	Clase SIG	2004-2006		1992		1979	
		Km ²	%	Km ²	%	Km ²	%
Predominio de la sedimentación	1	47	11,2	60,22	14,38	48,2	11,51
Baja erosión hídrica y formación	2	150,3	35,9	86,56	20,67	207	49,43
	3	124,1	29,6	174,3	41,63	105,2	25,12
	4	97,5	23,3	23,8	6,67	57,6	13,75
	5	0	0	0,1583	0,04	0,8	0,19

Como se puede observar, para los años 1979 y 2004-2006, la categoría correspondiente a las *Áreas de intensa erosión hídrica* se presenta como inexistente y para 1992 es muy baja. Asimismo, las categorías con los porcentajes más altos corresponden a las *áreas* de baja erosión hídrica y formación de depósitos y de erosión moderada; mientras para 1992 la erosión hídrica moderada alcanza los porcentajes más altos.

En 1979, el bosque primario y el bosque secundario actuaron como coberturas de protección, lo que se evidencia en que las categorías de alta e intensa erosión ocuparon el 14% de la cuenca, mientras que la categoría de erosión moderada ocupó la cuarta parte de la cuenca (25%). El año 1992, mostró una disminución significativa de la cobertura boscosa, coincidiendo con una elevación de las áreas que sufren erosión moderada, llegando casi representar más de la tercera parte del área de la cuenca. En el 2004, se apreció una disminución de las áreas dedicadas al pastoreo, las cuales se presentan como un aumento de las zonas dejadas en descanso, es decir, ocupadas por tacotales. Se apreció también un aumento de las áreas de baja erosión y formación de depósitos con respecto a 1992.

En 1992 se aprecia una menor cobertura boscosa o de protección y un aumento significativo de las áreas con predominio de la sedimentación, afectando principalmente a las áreas de las depresiones tectónicas y el sector de Hojancha. En 1979, el área más afectada por la erosión fue la Fila Maravilla (cuadro 6.9).

Cuadro 6.9 UG y dinámica de erosión/sedimentación

	Colinas onduladas a muy onduladas	<p>Es evidente la morfogénesis estructural y algunas de sus laderas posiblemente formaron parte de los escarpes de falla que rodearon a las depresiones tectónicas Caimital y Quirimán y que hoy se encuentran desgastadas por los agentes erosivos.</p> <p>Existen acumulaciones aluviales en la pendiente de las colinas, las cuales son afectadas por una erosión laminar moderada.</p> <p>Las colinas más afectas por la erosión son las que presentaron conflictos por sobreuso de la tierra, sobre todo en las áreas de precipitación más intensa en la cuenca media.</p>
S4	Terreno lleno de colinas a montañoso	<p>Son áreas intensamente afectadas por los procesos erosivos, los cuales se acentúan cuando la cobertura de bosque se sustituye por pastos como lo evidencian los resultados del MES. En los últimos años la Fila Maravilla ha sido objeto de un proceso de recuperación de la cobertura boscosa que ha llevado a disminuir la erosión.</p>
S5	Meseta	<p>La meseta se presentó en 1979 y 2004-2006, como una zona de baja erosión hídrica y formación de depósitos. La baja erosión hídrica se asociada a la pendiente casi plana y a los mejoramientos en pastos y protección de la cobertura forestal en los últimos años.</p>
S10	Colinas residuales	<p>Sus formas aparecen muy desgastadas por la alta erosión hídrica laminar, lo cual se evidencia en las formas sumamente redondeadas que las caracterizan. Sus laderas son áreas de erosión alta e intensa y en los bordes inferiores de las colinas se aprecian la depositación de materiales.</p>
S12	Escarpes de falla	<p>Se encuentran desgastadas por los agentes erosivos, produciendo una evolución de sus formas: desde el escarpe de falla, con sus bordes triangulares y los ríos perpendiculares a su dirección, a las colinas residuales y los pedimentos, es decir, a las acumulaciones aluviales de sedimentos en la pendiente de las colinas.</p>

S13	Depresión tectónica	Las depresiones tectónicas Quirimán, Caimital y Nosara son áreas donde predomina la sedimentación.
	Depósitos de talus	Se forman esencialmente por acumulación mecánica de bloques y otros materiales desprendidos de los escarpes adyacentes y en su formación tienen un papel importante los procesos de denudación y los tectónicos. Muchos poseen cobertura boscosa, como es el caso de los depósitos de las laderas SW del área de Cuesta Buenos Aires, que los protege de la erosión hídrica.
F1	Cauces fluviales	<p>En la sección baja el río Nosara presenta numerosas barras de punto y centrales, así como áreas de erosión lateral que producen el incremento de la curvatura en los meandros.</p> <p>Los depósitos que se observan en la desembocadura del río Nosara son subangulares, muy pobremente seleccionados y compuestos por arenas, guijas, gujarros, guijones y bloques.</p>
F6	Terrazas	Presenta un predominio de la sedimentación. Su forma se asocia a las variaciones hidrodinámicas, que hacen variar la competencia del flujo de agua y que permiten la profundización del cauce.
M3	Barra	Originada por la acumulación de sedimentos realizada por el mar.

Las depresiones tectónicas de la cuenca media y baja son las áreas receptoras de los materiales erosionados aguas arriba. 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 y que 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.

Capítulo VII

Discusión. Relación del cambio de las formas, con el uso de la tierra y los procesos de erosión y sedimentación en la cuenca hidrográfica del río Nosara

La cuenca hidrográfica del río Nosara en su sección baja ha atravesado cambios en las geoformas del paisaje fluvial, principalmente relacionados con las avulsiones de su curso, la formación y estrangulamiento de sus meandros y los cambios en su desembocadura. Los cambios que sufren los cauces fluviales y las transformaciones que esto puede implicar sobre la llanura aluvial dependen de la resistencia de los materiales geológicos de base, los cambios provocados por el clima, por el tectonismo, por los depósitos del material de carga que transporta el río y por aquellos que resultan de las actividades humanas, como la deforestación de las cuencas hidrográficas, los dragados en el cauce y la construcción de diques, entre otros.

Desde este marco, el presente apartado explora las relaciones resultantes de los cambios en la geomorfología, el uso de la tierra en la cuenca y las avulsiones e inundaciones en la cuenca baja, para posteriormente extraer de ellos recomendaciones orientadas hacia la gestión del ambiente en la cuenca hidrográfica del río Nosara. Con este propósito, la discusión de los resultados se ha subdividido en cuatro ejes temáticos que tratan la geomorfología y las formaciones superficiales, el uso de la tierra y su relación con la erosión en la cuenca, la dinámica de la erosión/sedimentación y las implicaciones de los cursos de agua sobre las comunidades ribereñas, principalmente, a los ríos Nosara y Montaña.

7.1 Geomorfología y formaciones superficiales de la cuenca hidrográfica del río Nosara

La cuenca hidrográfica del río Nosara tiene una constitución geológica basada fundamentalmente en rocas duras, las cuales abarcan el 70,32% del área total, mientras que el área correspondiente a las rocas blandas es de 29,68%. Sobre estas rocas, duras y blandas, fue posible identificar utilizando un modelo de sombras del relieve una variedad de 10 unidades geomorfológicas, las que en su mayoría corresponden a formas estructurales, es decir, representan un 96%. Las UG son las colinas onduladas a muy onduladas (S2), las montañas (S4), la meseta (S5), las colinas residuales (S10), los escarpes de fallas (S12), la depresión tectónica (S13), los depósitos de talus (D7), las terrazas (F6), los cauces fluviales (F1) y la barra (M3).

La cuenca hidrográfica del río Nosara ha tenido a los procesos estructurales y tectónicos como su origen y como principal motor de la transformación del relieve, lo cual se manifiesta en el alineamiento de filas montañosas, en la orientación y patrón rectangular del drenaje, los valles profundos y alargados que descienden por las laderas de las Fila Esperanza, la distribución del relieve y su rejuvenecimiento a partir del lineamiento L14, la formación de la meseta y la constitución de las tres depresiones tectónicas.

Se puede observar también en el modelo de sombras del relieve tres cordones montañosos principales: las Filas Esperanza, Maravilla y Cerro Negro. Los dos primeros con una dirección NE-SW, mientras que las montañas de la Fila Cerro Negro, que tienen una dirección NW-SW. Este cambio de dirección se asocia al control estructural que ejercen los lineamientos.

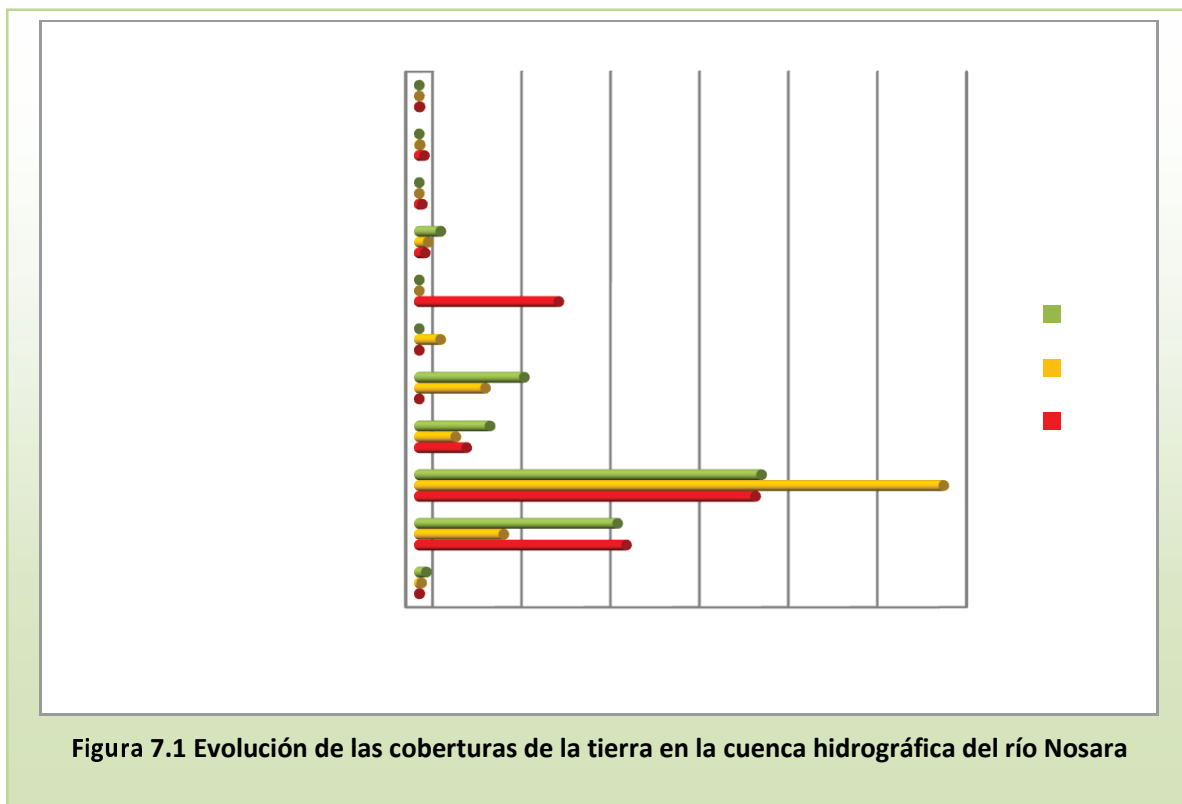
Las formas de esta cuenca hidrográfica están sometidas a intensos procesos denudacionales, en los cuales predomina la erosión hídrica laminar propiciada por las precipitaciones. El aporte de la lluvia que recibe la cuenca está influido por tres elementos, la cercanía con el mar, la estacionalidad marcada por el período seco y lluvioso y los cambios que produce el Fenómeno de ENOS, el cual durante su período frío supera los 6 000 mm en el 36% de la cuenca.

Si se asocia esta información de la precipitación con la geografía física de la cuenca, se puede llegar a la conclusión de que hay una concentración de agua fluvial y pluvial en un área donde el relieve pierde altitud e inclinación y las pendientes favorecen el encauzamiento rápido de la escorrentía superficial conduciéndola al punto medio de la cuenca, la cual estaría siendo afectada por los eventos máximos de precipitación y consecuentemente, por las inundaciones, al igual que sucede en las zonas bajas de la cuenca, tal como se explicó en el capítulo III.

7.2 Uso de la tierra y sus transformaciones

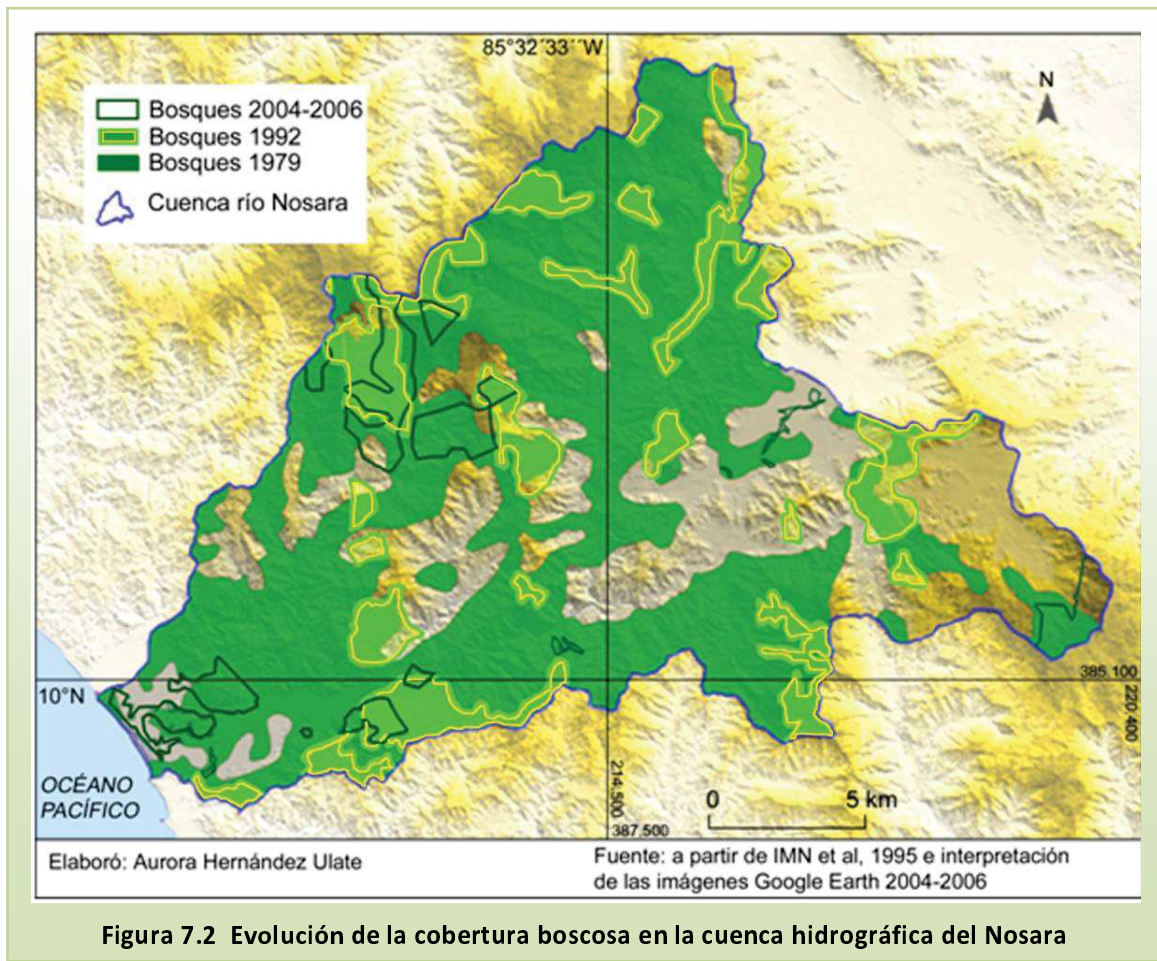
En la cuenca hidrográfica del río Nosara fue posible apreciar como el área fue objeto de un intenso despale para dar lugar a la cobertura de pasturas, que llegaron a representar en 1992 el 70% de la cobertura de la tierra (figura 7.1). Muchas de estas pasturas fueron instaladas en zonas donde este uso entraba en conflicto con la capacidad de uso de la tierra. Posiblemente, como un resultado de las políticas ambientales de las últimas dos décadas, se

observa para el período 2004-2005 un uso de la tierra más adecuado, pues los pastos disminuyeron casi en un 30%, es decir, representaron un 42,5% de la cobertura.



Pese a que es posible identificar imprecisiones en los datos de partida de los años 1979 y 1992 para las categorías de bosque natural y bosque natural intervenido, pues en su mayoría no coinciden en su ubicación, es posible apuntar que el bosque es la cobertura que más sufrió con las transformaciones en los usos de la tierra en la cuenca hidrográfica del río Nosara. En 1979 el bosque natural se extendía en 59 km², mientras que en la interpretación del 2004-2006 no fue posible su reconocimiento, ni tampoco la categoría de bosque natural intervenido (figura 7.2). Así, en el último período solo fue posible identificar el bosque secundario, el cual cubría 26,6 km².

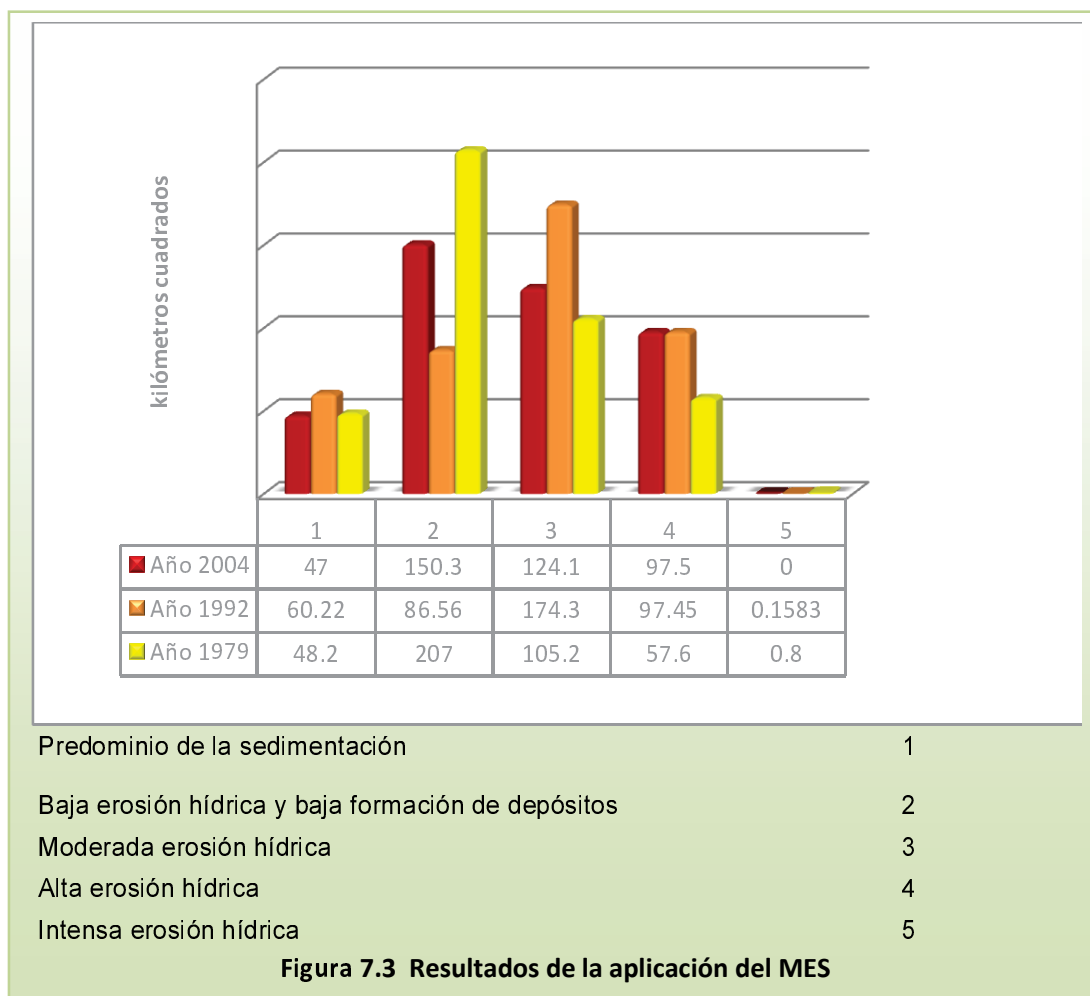
La disminución de las áreas dedicadas a los pastos, dio lugar a las zonas dejadas en descanso. En 1992, las áreas de tacotal abarcaban 47,5 km², mientras que en el período 2004 – 2006 se extendían en 116,4 km². Estas transformaciones en la cobertura de la tierra, especialmente las relacionadas con la desaparición del bosque colocan el área en un alto riesgo de erosión, entendiendo este como la vulnerabilidad del terreno a erosionarse en razón de sus características físicas y de las condiciones naturales que le afectan.



7.3 Dinámica erosión/sedimentación

Los mapas generados con el modelo MES para la cuenca hidrográfica del río Nosara permiten observar las variaciones que estas áreas han tenido en los tres momentos de estudio. Los resultados (figura 7.3), mostraron como en 1979, las áreas afectadas por la sedimentación son casi iguales a las de 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 moderados. También en 1979 se registró que la mitad de la cuenca era un área de baja erosión hídrica.

En el caso de los resultados para 1992, el aumento de erosión laminar moderada y alta se asocian al tipo de cobertura presente, en otras palabras, los resultados de la aplicación MES reflejan las consecuencias de la deforestación sobre la dinámica erosión/sedimentación en la cuenca, mostrando ambas un crecimiento.



7.4 Geomorfología, uso de la tierra y amenazas en la cuenca hidrográfica del río Nosara

Los cambios en los cursos y avulsiones de los ríos en la cuenca baja del Nosara se asocian a las condiciones climáticas, especialmente relacionadas con el fenómeno del Niño, pues la zona de estudio experimenta un aumento de la cantidad de lluvia recibida en el período lluvioso. Esto consecuentemente se presenta en la cuenca como inundaciones estacionales, la ocupación del cauce ordinario de los ríos Nosara y Montaña y posiblemente una mayor carga de materiales transportados por los ríos hacia la cuenca baja. Este proceso natural, por la ocupación humana ribereña a los cauces en las secciones baja y media de la cuenca, se ha constituido en una amenaza para las localidades cercanas, principalmente, a los tres cauces en la llanura aluvial.

En el caso específico de las inundaciones, el agua conducida aguas abajo por los cauces tiene dos puntos que son fundamentales en términos de amenaza a las poblaciones, el sector de la cuenca media donde la pendiente se reduce considerablemente en las depresiones tectónicas y el sector de la cuenca baja, donde ocurre un proceso similar, pues después que se pasa el área de las inundaciones de cuenca media, los cauces transitan por valles encajonados y vierten sus aguas en los cauces principales en la llanura aluvial.

Los cursos fluviales del Nosara, Montaña y Quebrada Seca en la cuenca baja pueden presentar un rebalse en sus cauces ordinarios e inundar las tierras adyacentes. La llanura que rodea estos ríos es por tanto, propensa a inundación y se encuentran en riesgo las actividades económicas y las viviendas dentro del perímetro de los desbordamientos.

Una de las respuestas de la población ante los constantes episodios de inundaciones fue la construcción de diques en los ríos Nosara y Montaña, que consistieron en la colocación de materiales no consolidados extraídos de los cauces. Sin embargo, estos han llegado a resultar poco útiles, pues como lo mostró el río Nosara en el 2007, pocos meses después de construido el dique, el río lo rebasó con creces y formó un espejo de agua (figura 7.4).



Figura 7.4 Dique en el río Nosara construido con los materiales dragados del lecho

La fotografía aérea de 1945 permitió observar los canales anteriores del cauce, los cuales se extendían principalmente hacia el sureste de la llanura aluvial. Desde ahí iniciaron un proceso de depositación en forma de barras de punto, que posiblemente constituyeron barreras que potenciaron la migración del río hacia el noroeste, dirección de la migración actual. Sin embargo, el avance del río en esta dirección se encuentra obstaculizado por las colinas residuales (S10) en este sector de la cuenca baja. En una comparación con la

imagen del 2004, se observa el trazado actual del río y los asentamientos humanos en áreas anteriores de avulsión del cauce, lo cual implica un riesgo potencial para la población.

La sección baja de la cuenca hidrográfica del río Nosara está marcada por un gran dinamismo en las formas fluviales, principalmente dado por el desarrollo y evolución de los meandros, las avulsiones del río, las crecidas dentro de su lecho ordinario y los desbordamientos que provocan las inundaciones. Como factor de amenaza, este dinamismo representa un desafío que la población debe superar mediante planes de ordenamiento territorial.

En este sentido, desde el punto de vista de la geomorfología fluvial en esta sección, se puede afirmar que los diques lo que potencian es un encausamiento que reduce la capacidad del río de expandir su lecho ordinario, lo cual disminuye la superficie para la depositación y se provoca una acreción del fondo en los cauces principales. Para contrarrestar esto se crea un círculo de dragado y reconstrucción de los diques en las áreas en que el río Nosara y Montaña los destruyen y un reforzamiento de los segmentos que aún prevalecen en su lugar después de las crecidas. La situación que podría derivar de esto es que cada vez los diques serán más vulnerables por la acreción de sedimentos que sufren los ríos y las poblaciones serán más amenazadas por las potenciales inundaciones al no ser los diques capaces de contener todas las crecidas del río.

Conclusiones

La cuenca hidrográfica del río Nosara tiene una constitución basada fundamentalmente en rocas duras, las cuales ocupan un 70,32% de la zona de estudio, mientras que el área correspondiente a las rocas blandas es de 29,68%, estas últimas se encuentran distribuidas principalmente en las áreas ocupadas por la meseta estructural de Hojancha y las tres depresiones tectónicas en la cuenca, dos de ellas en la sección media y una en la sección baja.

Las áreas donde se encuentran las rocas blandas están conformadas por materiales sedimentados que corresponden arenas, guijas, guijarros, guijones y bloques que han sido erosionados y transportados por las corrientes fluviales y depositados en estas depresiones a través del tiempo.

Sobre estas rocas duras y blandas fue posible identificar utilizando un modelo de sombras del relieve una variedad de 10 unidades geomorfológicas, las que en su mayoría corresponden a formas estructurales, es decir, representan un 96%. De manera que la cuenca hidrográfica del río Nosara ha tenido a los procesos estructurales y tectónicos como su origen y como principal motor de transformación del relieve y por lo tanto, estos controlan tanto la geometría de la cuenca hidrográfica y como la geomorfología presente en ella. Las formas se consideran particularmente orientadas a partir de las fallas Quirimán y Nosara (identificadas por Dengo en 1962) y el lineamiento geológico L14.

El levantamiento de las Unidades Geomorfológicas permitió observar la composición general de la morfología, lo cual condujo a concluir que estas son diversas, logrando identificarse diez UG, las cuales se describen resumidamente a continuación (cuadro 7.1):

Cuadro 7.1 Resumen de las UG identificadas en la cuenca hidrográfica del río Nosara

S2	Colinas onduladas a muy onduladas	Presentan formas redondeadas, las laderas cortas y rodean valles que aparecen, como depresiones cóncavas o en V. La orientación de las colinas está asociada a la presencia de lineamientos geológicos.
S4	Terreno lleno de colinas a montañoso	Formas con pendientes pronunciadas, aunque no superan en promedio los 35°. En algunas secciones de las laderas pueden llegar a los 77°, formando valles en “V”, los cuales son los más profundos y alargados en la cuenca. Su orientación está determinada por los lineamientos geológicos y fallas tectónicas.
S5	Meseta	Se presume que la meseta es un bloque basculado asociado a la depresión tectónica Caimital y que los cerros de baja altitud son formas residuales que pueden corresponder, con una anterior extensión de esta meseta.
S10	Colinas residuales	Conjuntos de bajos promontorios que interrumpen la continuidad del relieve plano de las depresiones tectónicas. Estas colinas en la cuenca baja alcanzan una altitud máxima de 60 m.s.n.m cerca de la localidad de Santa Marta de Nosara.
S12	Escarpes de falla	Aparecen como formas que cortan el terreno abruptamente, con pendientes que pueden ser mayores a los 30° en sus bordes.
S13	Depresión tectónica	Las dos áreas planas en la cuenca media se han interpretado como depresiones tectónicas (Caimital y Quirimán). Ambas se encuentran a 200 m.s.n.m, su origen se ha asociado a la presencia de las fallas Quirimán y Nosara. Según Dengo (1962), son recorridas por ríos que podrían estar controlados por el fallamiento y las colinas son superficies erosionales remanentes. En la cuenca baja la depresión tectónica Nosara aparece bordeada el área de la terraza fluvial y está cubierta por sedimentos cuaternarios aportados por la acción fluvial de los ríos Nosara, Montaña y Quebrada Seca y depositados sobre un basamento de origen sedimentario del Supergrupo Garza.

Aluviales	D7	Depósitos de talus	Los conos de talus están localizados al pie de zonas escarpadas, se identifican por su forma de cono, son convexos, inclinados a muy inclinados, no superando en la mayoría de los casos los 30° de pendiente.
	F1	Cauces fluviales	<p>Los valles que descienden de las secciones altas, los cuales son en forma de V y se presentan bordeados por laderas cóncavas.</p> <p>En la parte baja de la cuenca, se forma un lecho amplio que se ha profundizado en una terraza y que tiene la capacidad producir avulsiones.</p> <p>La variación de la pendiente en la cuenca media explica porque es en este lugar que se produce el primer gran depósito de materiales y ocurren episodios de inundación. El cambio de pendiente que experimenta el relieve es alrededor del 25%, es decir pasa de más de 35% a menos de 10% y su variación está asociada al control estructural y el fallamiento.</p>
	F6	Terrazas	La terraza fluvial es superficie de relieve plano a ligeramente ondulado y con altitudes que sobrepasan los 10 m.s.n.m. Su forma es asimétrica y aparece rodeando la llanura de inundación de los tres cursos, Nosara, Montaña y Quebrada Seca.
	M3	Barra	La barra arenosa está compuesta por arenas y gravas que forman una franja angosta, alargada y paralela a la costa con una dirección N-S. Posee una longitud de 1574 metros. Fue originada por la acumulación de sedimentos fluviales en un ambiente de baja energía y sobre todo por depósitos marinos.

El análisis del relieve permitió observar que la mayor parte de las variaciones obedecen a los procesos estructurales que determinan aspectos como el origen de la geoforma, la altitud y orientación. Sin embargo, cuando se analiza la pendiente, esta aparece como un factor determinante para identificar las formas de superficies planas o plano onduladas, pero no es útil para la caracterización de las formas de colinas y montañas, pues las variaciones de las pendientes no permiten establecer zonificaciones. Esto último encuentra explicación en la redondez que presentan las geoformas, es decir, tanto las cimas de las montañas como de

las colinas son redondeadas y la mayoría de las laderas y valles descienden con pendientes poco pronunciadas, salvo en el área de las montañas.

La cuenca alta está constituida por formas denudacionales caracterizadas por poseer un relieve montañoso con valles estrechos y alargados y donde es posible observar procesos de erosión laminar y escasos desprendimientos de pequeñas masas. Estas montañas de la cuenca alta aparecen con cuatro características en común:

- ✿ principalmente se han formado sobre rocas del Complejo de Nicoya y los procesos denudacionales que las afectan están dominados por la erosión hídrica laminar en las pendientes pronunciadas de las montañas. También es posible observar en ellas depósitos de talus o coluvios asociados a las líneas de los escarpes de falla;
- ✿ poseen cimas con forma redondeada, posiblemente debidas a su antigüedad y a los procesos de desgaste que han sufrido por la erosión hídrica;
- ✿ no evidencian procesos activos de desprendimientos gravitacionales de materiales, pero si es posible identificar escarpes de falla y los depósitos correspondientes a estos en sus laderas; poseen largas laderas que descienden desde más de 800 m.s.n.m hasta los 400 ó 300 m.s.n.m, que en pocos casos superan los 35 grados de pendiente, como por ejemplo el Cerro Negro (perfil B, capítulo III, p. 44).

En el caso de la cuenca media, esta está constituida de formas denudacionales de transición, las cuales se caracterizan por el marcado cambio en las altitudes y consecuentemente de sus pendientes (tanto en inclinación como en longitud), sus formas más redondeadas, sus laderas más cortas y por la combinación de la erosión laminar hídrica y sedimentación como principales agentes modeladores de las formas.

Como conclusión del estudio de las UG de la cuenca media se puede apuntar lo siguiente:

- ✿ Las colinas presentan un marcado cambio en las altitudes, como se apreció en el perfil B a partir de la falla del Río Montaña aguas abajo, poseen sus formas más redondeadas y las laderas más cortas que las que se aprecian en el relieve de las montañas y rodean valles que aparecen más amplios que en la sección alta;

- ✿ La meseta estructural de Hojancha posee una serie de escarpes de falla y depósitos de pie de monte en su borde oeste, el cual es básicamente su único borde escarpado. Se presume que esta meseta es un bloque basculado levantado asociado con una depresión tectónica situada en el extremo noreste y que los cerros de baja altitud son formas residuales;
- ✿ La sección media está compuesta por una variedad de formas que incluye dos depresiones tectónicas, Quirimán y Caimital, los depósitos coluviales de pie de monte, lechos fluviales amplios, bordeados algunos de ellos por pequeñas terrazas, como es el caso del río Quirimán;
- ✿ Las depresiones tectónicas de la cuenca media se encuentran a 200 m.s.n.m, su origen se ha asociado a la presencia de las fallas Quirimán y Nosara y han sido rellenadas por materiales provenientes de la degradación de laderas, más que por aporte fluvial. Según Dengo (1962), estas secciones planas rodeadas de montañas y colinas, son recorridas por ríos que podrían estar controlados por el fallamiento y es posible observar superficies erosionales remanentes, como es el caso de las colinas.
- ✿ Las geoformas de la cuenca media experimentan la combinación de la erosión laminar hídrica y sedimentación como principales agentes modeladores; sin embargo, se evidencia en su origen y orientación el control estructural y tectónico, como se explicó en el Capítulo III;
- ✿ Los ríos que descienden de las secciones altas de la cuenca depositan una importante parte de su carga en la cuenca media. Adicionalmente, en este sector se experimenta una renovación del proceso erosivo asociado a un rejuvenecimiento del relieve.
- ✿ Se puede identificar un sector con meandros encajonados desde el sector de las Juntas hasta la confluencia de los ríos Pilas Blancas y Nosara y en el cauce del río Montaña.
- ✿ En la cuenca media se presentan inundaciones recurrentes, en áreas relativamente planas y en las que se produce la confluencia fluvial.

Las formas de la cuenca baja del río Nosara en su origen están asociadas a procesos estructurales y la mayoría fue afectada por depósitos cuaternarios e incluyen los amplios desarrollos de lechos fluviales con sus meandros y áreas de acumulación de sedimentos, la llanura aluvial, la terraza, la barra arenosa costera, las barras de punto y centrales del lecho del río y la playa de depósitos marinos. Así el área que hoy en día ocupa la llanura y la terraza en la parte baja se presentan como una anomalía en la parte baja de la cuenca, pues representan un cambio topográfico con respecto a las zonas circundantes. Esto se ha identificado como una depresión tectónica (S13), cuyo origen tectónico se explicó en el capítulo III.

La cuenca hidrográfica del río Nosara en su sección baja ha atravesado cambios en las geoformas del paisaje fluvial, principalmente relacionadas con las avulsiones de su curso, la formación y estrangulamiento de sus meandros y los cambios en su desembocadura.

En cuanto a los procesos que afectan las formas en la actualidad en toda la cuenca hidrográfica, predominan los tectónicos y denudacionales. El primero de ellos incide en la constitución de las formas y su orientación, por ejemplo, en dirección, profundidad y patrón rectangular del drenaje, el alineamiento de montañas y colinas y la renovación del proceso de erosión por rejuvenecimiento del relieve. El segundo, está dominado por la erosión hídrica laminar como principal proceso de desgaste de las formas y la sedimentación como proceso de acreción y cambio de estas, como por ejemplo, el caso de las barras de punto y centrales en los lechos de los ríos Nosara y Montaña.

La erosión hídrica laminar está directamente vinculada a la precipitación que recibe la cuenca del Nosara, que como se observó en las figuras que presentan los mapas de precipitación, tanto en el Capítulo II como en el VI, la precipitación es mayor desde la zona central de la cuenca hacia la parte baja durante las fases frías de ENOS y existe una concentración de la precipitación, según la interpolación de los resultados del índice de Fournier, en la sección media de la cuenca.

Para la comprensión de la relación de la erosión/sedimentación en la cuenca hidrográfica del Nosara se desarrolló y aplicó el MES. Este modelo permitió determinar los índices correspondientes a las áreas que presentan erosión actualmente y las áreas donde predominan los procesos de sedimentación. Los resultados mostraron que en 1992 se produjo una intensificación de los procesos erosivos en la cuenca, manifestándose estos

principalmente como un aumento en la erosión hídrica moderada (40%), lo que es coincidente con el porcentaje de áreas en condición de conflicto por sobreuso de la tierra (53% en 1992). En 1979, el bosque primario y el bosque secundario actuaron como coberturas de protección, lo que se evidencia en que las categorías de erosión moderada y alta ocuparon el 65% de la cuenca, mientras que la categoría de sedimentación también aumento.

En este sentido, se considera que los resultados de la aplicación permiten afirmar que hay una relación directa entre la eliminación de la cobertura del bosque con el aumento de la erosión hídrica moderada y alta y el aumento en la sedimentación (cuadro 7.2). 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 y que 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.

Con respecto a los datos obtenidos en esta tesis sobre los procesos que producen las avulsiones del curso del río Nosara y las inundaciones en la cuenca media y baja, se puede afirmar que estas son parte de la dinámica natural del río y están controladas por la disposición estructural de las formas en la cuenca. Como se ha explicado, la sección media, en las depresiones tectónicas, se concentra el agua colectada en las montañas y en la sección baja, después de la zona de los desbordamientos, se produce en la sección media un rejuvenecimiento del relieve, que unido con la recepción de altas precipitaciones, producen que nuevamente el agua sea colectada y llevada principalmente por el río Pilas Blancas y Nosara hasta su confluencia, a partir de la cual se presenta el área afectada por las inundaciones en la sección baja.

El control del uso de la tierra y la aplicación de prácticas de conservación de suelos y otras medidas proambientales pueden ayudar a paliar los efectos de estas crecidas de los ríos, pues pueden derivar en una disminución de los materiales desprendidos en las laderas y consecuentemente, en la cantidad de materiales que trasladen los cauces hacia las secciones que son susceptibles a inundarse. Esto sobre todo lo que permite es tener cauces ordinarios con canales poco sedimentados, lo cual permitiría conducir con más rapidez y capacidad el agua durante la estación lluviosa.

La sedimentación en estos cauces podría estar implicando que los ríos Nosara, principalmente, y Montaña experimenten una disminución de la pendiente que está potenciando la sedimentación, aunque no se dispone de datos que permitan sustentar esto cuantitativamente, si es posible afirmarlo, a partir de las acciones de dragado que han sufrido los cauces, cuyos materiales extraídos son los que exhiben los diques en ambos cursos. Los cambios potenciales en el fondo de los ríos podrían estar generando una activación del desbordamiento y consecuentemente una sedimentación más allá del cauce, o sea en la llanura.

El desarrollo de los meandros, las avulsiones del río, las crecidas dentro de su lecho ordinario y los desbordamientos que provocan las inundaciones son los factores de amenaza de las comunidades ubicadas en la cuenca baja con relación a los cursos fluviales del Nosara y Montaña. La dinámica natural de esos dos ríos representa un desafío que la población debe superar mediante planes de ordenamiento territorial. Sin embargo, se debe dejar claro, que no se descarta que los diques puedan controlar algunas de las crecidas que podrían derivar en desbordamientos, lo que se señala, es que las medidas de atención a esta dinámica fluvial deben incorporar el ordenamiento territorial para asegurar la reducción de la vulnerabilidad que sufren las comunidades afectadas.

Recomendaciones para guiar la gestión ambiental de la cuenca hidrográfica del río Nosara

La gestión ambiental de la cuenca hidrográfica del río Nosara, se visualiza en primera instancia como la implementación de acciones que permitan guiar, regular y controlar el uso del territorio y disminuir el daño ambiental y las vulnerabilidades de la población en este sistema hidrográfico. Las orientaciones que se exponen en esta sección se realizan a partir del conocimiento de las particularidades del medio físico que fueron identificadas en esta tesis. En este sentido, las recomendaciones para la cuenca hidrográfica del río Nosara se realizan considerando dos grandes temas de acción:

- el papel de las organizaciones e instituciones en la cuenca y
- las áreas de protección y vulnerables en la cuenca hidrográfica del río Nosara como pilares fundamentales para velar por las fuentes de agua y la conservación de los suelos.

A su vez hay tres aspectos que se asociarán a los temas de acción, estos son: a) las inundaciones en la cuenca media y baja, partiendo de la comprensión de que estas son parte de la dinámica hidrogeomorfológica de la cuenca y que por lo tanto, no es posible eliminarlas, pero si recomendar acciones que permitan reducir el riesgo y disminuir los daños que sufren las comunidades; b) los usos de la tierra deben ser controlados por las instituciones competentes, para garantizar que no aumenten los daños ambientales en la cuenca; y c) la educación ambiental, la investigación y la transferencia de información entre instituciones y de estas a las comunidades es un aspecto necesario para avanzar hacia la comprensión del ambiente y dar los primeros pasos hacia una gestión integral de la cuenca hidrográfica del río Nosara.

Organizaciones e instituciones en la Cuenca hidrográfica del río Nosara. Uno de los puntos de partida de las recomendaciones para la gestión ambiental de la Cuenca hidrográfica del río Nosara es el reconocimiento de los principales actores que pueden fortalecer las acciones en pro de comportamientos ambientales más acordes con el desarrollo sostenible. En este sentido, la Municipalidades de Santa Cruz, Nicoya y Hojancha, las oficinas de instituciones regionales como el Ministerio de Agricultura y Ganadería (MAG), el Ministerio de Medio Ambiente y Telecomunicaciones (MINAET), el Ministerio de Educación

Pública (MEP), el Ministerio de Salud (MS), el Instituto de Acueductos y Alcantarillados (AYA), las Asociaciones Comunales de Desarrollo y las Asociaciones Administradoras de Sistemas de Acueductos y Alcantarillados Comunales (ASADAS) y la Comisión Nacional de Prevención de Riesgos y Atención de Emergencias (CNE), conforman la base institucional sobre la cual deben sustentarse y coordinarse los esfuerzos de gestión en la cuenca.

Los resultados que se presentan en esta tesis, pueden ser tomados por las organizaciones locales como punto de partida para realizar actividades de protección o educación en materia ambiental. Tal fue el caso de los datos que fueron utilizados por la Asada de Nosara para identificar zonas en riesgo de erosión. Como resultado se organizó una siembra de árboles en julio del 2009.

Otras acciones de mayor escala pueden derivar en la organización de una Comisión de Cuenca, que permita articular los esfuerzos de las instituciones en la zona y las organizaciones comunales, como las ASADAS y las Asociaciones de Desarrollo Comunal, en pro de mejorar las condiciones ambientales de la cuenca. La constitución de una organización de cuenca se percibe como un escenario deseable, pues sería un instrumento que debe potenciar la participación ciudadana en los procesos de planeación de las acciones en la cuenca y la identificación de las prioridades que se deben tomar en cuenta en la ejecución de estas acciones.

La organización de cuenca o las instituciones receptoras de la información proporcionada por esta tesis deberían atender como recomendación, el traslado de esta información hacia las comunidades. Si se formará una organización de cuenca esta debería mantener un traslado de información constante hacia la población en la cuenca y propiciar la existencia de canales adecuados para que esta pueda llegar a los interesados en forma oportuna, precisa y en un formato que facilite su acceso e interpretación.

Se han identificado cuatro temas prioritarios que deben ser abordados por las instituciones y las organizaciones comunales en la zona con respecto al ordenamiento del territorio:

- Desarrollar una estrategia para disminuir los riesgos de erosión/sedimentación presentes en la cuenca, la cual puede estar integrada por una campaña de educación para el manejo adecuado del suelo en áreas de ladera y la identificación de zonas prioritarias para iniciar el trabajo de manejo de la erosión y la sedimentación.

- ✿ Desarrollar los estudios pertinentes para determinar la capacidad real de los recursos hídricos y sus demandas a fin de satisfacer necesidades múltiples y proyectar las acciones que deben emprenderse relacionadas con la educación ambiental orientada a un uso adecuado del agua y a la protección de nacientes, pozos y cursos superficiales.
- ✿ Desarrollar procesos de concienciación sobre la importancia de proteger las fuentes de agua y el suelo, con el propósito de preparar a la población para asumir un rol activo en el uso sostenible de ambos recursos y en las acciones de protección. Además, se requiere que instituciones como el MAG sigan desarrollando los programas en las fincas demostrativas, los cuales son importantes porque promueven nuevas opciones de producción y el mejoramiento de las prácticas con que se utiliza el suelo.
- ✿ Atender la amenaza que implican las inundaciones para las comunidades en la cuenca media y baja del río Nosara, a través de una participación activa de la CNE y de las comunidades que son afectadas. Estas acciones podrían incorporar una evaluación de potenciales planes para la reubicación, análisis de la pertinencia de la realización de dragados como una respuesta a las inundaciones y la educación necesaria en materia ambiental que permita comprender a la población de la dinámica natural del río, principalmente la relacionada con sus avulsiones y desbordamientos.
- ✿ Fortalecer la capacitación y formación a los dirigentes comunales de las áreas que son susceptibles inundarse en temas que potencien la disminución de la vulnerabilidad de las comunidades. Dos ejemplos de estos temas son ¿cómo enfrentar en las comunidades este tipo de amenaza? y ¿qué sistemas de alerta temprana pueden desarrollarse para mitigar los daños en las poblaciones y bienes?

Áreas de protegidas como punto de partida para las acciones. Como elementos importantes se debe destacar que ya la cuenca cuenta con dos áreas de protección que se encuentran formalmente constituidas: el Refugio de Vida Silvestre Ostional, el cual permite la conservación de la zona de manglar en la parte baja de la cuenca y la Zona Protectora Monte Alto en la cual trabajan para la conservación del bosque y la fuentes de agua la Fundación Pro Reserva Forestal Monte Alto, la Municipalidad, el Centro Agrícola Cantonal, la Guardia Rural, la Comisión de Corredor Biológico, los grupos de brigadas contra incendios.

A estas áreas se le suman las que son ocupadas por el bosque que se constituyen como Patrimonio Natural del Estado, lo cual es equivalente en protección al Parque Nacional y las que son áreas de protección de nacientes. Ambas son áreas que requieren de una identificación en campo y de seguimiento para evitar que sean deterioradas ambientalmente y en las que podría explorarse la posibilidad del pago por servicios ambientales.

Una de las acciones que se recomienda realizar en la cuenca es un Plan de Educación Ambiental, que tenga como prioridad fomentar los valores de conservación relacionados con el agua y los bosques. También en estos planes es necesario adicionar un módulo sobre la comprensión del medio natural en la cuenca hidrográfica del río Nosara, considerando sus amenazas naturales, como las inundaciones y destacando la forma en que se puede propiciar una disminución del riesgo. Estos deberían implementarse en primera instancia, en las comunidades cercanas a las áreas protegidas, a las zonas de bosque, a los cursos de agua y en las comunidades donde se encuentran las ASADAS funcionando.

Esto dado que una estrategia de gestión ambiental que incorporé el manejo del territorio en la cuenca hidrográfica del río Nosara debería partir de la promoción de la conservación de áreas que son vulnerables ambientalmente. Así que los puntos estratégicos de trabajo en este sentido serían:

- ✿ La declaración formal del Patrimonio Natural del Estado en las áreas de bosque que aún quedan en la cuenca hidrográfica del río Nosara o que se han recuperado y promover el cumplimiento de los artículos de la Ley Forestal referidos a la protección de los cursos de agua, tanto urbanos como rurales, y las nacientes de agua.
- ✿ Identificación de las nacientes de agua en la cuenca hidrográfica del río Nosara, priorizando en el trabajo de levantamiento en campo aquellas que se utilizan para el abastecimiento de agua potable.
- ✿ Elaborar una campaña de educación ambiental que promueva tanto los valores de conservación orientados a la protección de las nacientes de agua, especialmente aquellas que abastecen a las ASADAS y Acueductos Comunales en la Cuenca hidrográfica del río Nosara, como aquellos relacionados con la conservación del bosque.

- ✿ Orientar los incentivos que existen para la conservación del bosque hacia aquellas áreas que se encuentran en recuperación de la cobertura vegetal en la cuenca hidrográfica del río Nosara, con el fin de disponer de un incentivo económico que estimule la conservación de ecosistemas naturales y la recuperación de estos.
- ✿ Identificar las áreas prioritarias para la reforestación o incentivar la recuperación de la cobertura natural, con la finalidad de que se orienten las campañas de reforestación que se realizan en la cuenca.
- ✿ Buscar estímulos para los procesos de producción agropecuaria que disminuyan las presiones negativas sobre el medio ambiente y los recursos naturales.
- ✿ Promover que las instituciones como el MINAET y el MAG desarrollen un programa de seguimiento de las áreas que han sido afectadas recientemente por la deforestación, de las áreas en recuperación de la cobertura natural y del uso de la tierra, con el propósito de diseñar acciones oportunas para prevenir problemas ambientales.
- ✿ La Municipalidad de Nicoya debe regular el crecimiento urbano en las áreas que se encuentran amenazadas por las inundaciones de los ríos Nosara, Quirimán, Quebrada Cuajiniquil, Zapote, Gamalotal y Montaña.

Referencias

- Alfaro, A. (2006). Diagnóstico hidrogeológico en la zona de Nosara, Cantón de Nicoya, Costa Rica. Servicio Nacional de Aguas Subterráneas, Riego y Avenamiento (SENARA). San José, Costa Rica.
- Alvarado, L; R, Pacheco y M, Solera. (2005). Efecto de ENOS sobre la agricultura del arroz en la Región Chorotega y la agricultura del frijol en la Zona Norte de Costa Rica. http://www.imn.ac.cr/publicaciones/estudios/Nino_produccion_arroz_frijoles.pdf. Consultado el 6 de marzo de 2009.
- Asamblea Legislativa de Costa Rica. 1997. Ley sobre la Zona Marítimo Terrestre. http://www.conicit.go.cr/boletin/boletin46/ley_reglamento_maritimo_terrestre.pdf. Consultada el 20 de mayo de 2010.
- Astorga, A. (1987). El Cretácico Superior y el Paleógeno de la vertiente Pacífica de Nicaragua meridional y Costa Rica septentrional: Origen, evolución y dinámica de cuencas profundas relacionadas al margen convergente de Centroamérica: Tesis de Licenciatura, Universidad de Costa Rica. 250 p.
- Astorga, A. (1995). El papel de las Ciencias Geológicas en los Programas de Desarrollo Sostenible y Ordenamiento Territorial en Costa Rica. En Restrepo, F. y Santiago, C.: Aspectos Geológicos de Protección Ambiental, Volumen 2: 7- 11; UNESCO, UNICAMP, PNUMA (Montevideo).
- Astorga, A. (2004a). Estudio geológico para el desarrollo de una base técnica para el ordenamiento ambiental territorial de una parte del Distrito de Orosi, Cantón de Paraíso, Provincia de Cartago, Costa Rica. Contratación Directa No. 128 – 2003, Informe de Avance. Informe técnico Comisión Nacional de Prevención de Riesgos y Atención de Emergencias (CNE), 40 p.
- Astorga, A. (2004b). Estudio geológico para el desarrollo de una base técnica para el ordenamiento ambiental territorial de una parte del Distrito de Orosi, Cantón de Paraíso, Provincia de Cartago, Costa Rica. Contratación Directa No. 128 – 2003, Informe Final. Informe técnico Comisión Nacional de Prevención de Riesgos y Atención de Emergencias (CNE), en preparación.
- Astorga, A; J, Fernández; G, Barboza; L, Campos; J, Obando; A, Aguilar y L, Obando. (1989). Cuencas Sedimentarias de Costa Rica: Evolución Cretácico Superior-Cenozoica y Potencial de Hidrocarburos. Symposium on the Energy and Mineral Potential of the Central American-Caribbean Region. March 6-9, 1989, Circumpacific Council: 23 p. San José, Costa Rica.
- Astorga, A y Campos, L. (2001). El cartografiado de geoaptitud de terrenos. -Rev. Geol. Amer. Central, 24: p. 103-110. San José, Costa Rica.

- Astorga, A y Mende, A. (2005a). Aplicación de la metodología del IFA con el objeto de introducir la variable ambiental en el Plan Regulador del cantón de Escazú, San José, Costa Rica. Informe Técnico 1 de la Municipalidad de Escazú, 15 p. San José, Costa Rica.
- Astorga, A y Mende, A. (2005b). Base Técnica del Plan Regulador del Sector Urbano y Alrededores Inmediatos del Cantón de Escazú. Informe Técnico 2 de la Municipalidad de Escazú, 26 p. San José, Costa Rica.
- Ávila, M. (1980). Geología del área de Punta Pelada y alrededores, Cantón de Nicoya, Provincia de Guanacaste, Costa Rica. Campaña Geológica G-5216. Escuela Centroamericana de Geología. Universidad de Costa Rica. San José, Costa Rica.
- Baumgartner, P; C, Mora; J, Butterlin; J, Sigal; G, Glacon; J, Azéma y J, Bourgois. (1984). Sedimentación y paleogeografía del Cretácico y Cenozoico del Litoral Pacífico de Costa Rica. Rev. Geol. Am. Central; I, p. 57 – 136.
- Bergoeing, J. P.; L. G. Brenes y E. Malavassi. (1982). Geomorfología del Pacífico Norte de Costa Rica. Escala: 1:100.000 (11 hojas más texto) editada en colores por Instituto Geográfico Nacional: San José, Costa Rica.
- Bergoeing, J y Battistini, R. (1983a). Características geomorfológicos del litoral comprendido en entre Bahía Tamarindo y Bahía Culebra, Península de Nicoya, Costa Rica. Revista Geográfica N°98. Julio-Diciembre de 1983: IPGH. San José, Costa Rica.
- Bergoeing, J y Battistini, R. (1983b). Reconnaissance geomorphologique de la façade Pacifique du Costa Rica. Travaux et documents de Géographie Tropicale. CEGET, n° 49.
- Beaudet, G.; P. Gabert y J. P. Bergoeing. (1982). Les modelés hérités du Costa Rica. Bull. Assoc. de Géographes Français. N° 488. p. 183-197. Paris, France.
- Bergoeing, J. (1978a). Geomorfología área del cantón de Talamanca, provincia de Limón, Costa Rica. San José: Instituto Geográfico Nacional.
- Bergoeing, J. (1978b). Geomorfología del sector Quepos-Manuel Antonio Heredia, C.R: Univ. Nac., Departamento de Geografía, 1978.
- Bergoeing, J. (1998). Geomorfología de Costa Rica. San José: Instituto Geográfico nacional.
- Brenes, L. (1976). Análisis geomorfológico de procesos de remoción en masa en parte de la Cuenca del río Reventazón, Costa Rica. Trabajo Final de Graduación. Escuela de Geografía. Universidad de Costa Rica.
- Campos, L. (1995). Entorno geológico regional y aspectos de amenaza sísmica en los proyectos Hidroeléctricos del Instituto Costarricense de Electricidad en la Cuenca Limón Sur. Instituto Costarricense de Electricidad. San José, Costa Rica.

Cardona, D. (1994). Introducción a la edafología. Reimpresión. Universidad Rafael Landívar. Ciudad Guatemala, Guatemala.

Casanova, E. (2005). Introducción a la ciencia del suelo. Caracas: Editorial Universidad Central de Venezuela y Consejo de Desarrollo Científico y Humanístico.

Comisión Europea de Medio Ambiente. (1992). CORINE land resources. <http://www.eea.europa.eu/es>. Consultado el 18 de marzo de 2009.

Comisión Nacional de Prevención de Riesgos y Atención de Emergencias (CNE). (2003). Mapa de amenazas natural del Cantón de Nicoya. Sistema de información para emergencias. San José. <http://www.cne.go.cr/Atlas>. Consultado el 21 de mayo de 2010.

Cortés, G (ed). (1994). Atlas agropecuario de Costa Rica. San José, Costa Rica: EUNED.

Cubero, D (ed). (1994). Manual de Manejo y conservación de suelos y aguas. Segunda Edición. San José: EUNED.

Dengo, G. (1962). Estudio geológico de la región de Guanacaste, Costa Rica. San José, Costa Rica: Instituto Geográfico Nacional.

Denyer, P y Cárdenas, G. (2000). Costas Marinas. En Denyer, Percy y Siegfried Kussmaul, (comp). Geología de Costa Rica. Cartago: Editorial Tecnológica de Costa Rica.

Fairbridge, R. (1968). The encyclopedia of geomorphology. Vol III of Enciclopedia of earth sciences series. New York: Reinhold Book Corporation.

Fundación Pro Reserva Monte Alto. (2009). Monte Alto. Proyecto Construcción de infraestructura para uso público, voluntariado, educación ambiental y ecoturismo. www.pequenasdonacionescr.org/index.php?option=com_docman&task=doc_download&gid=37. Consultado el 5 de marzo de 2009.

Griem, W y Griem-Klee, S. (1999). Sedimentología. En Apuntes de Geología General. Universidad de Atacama. Atacama, Chile: <http://plata.uda.cl/minas/apuntes/Geologia/geologiageneral/ggcap05.htm#Erosión>. Consultado el 7 de mayo del 2006.

INBIO. (2009). Diversidad de ecosistemas. http://www.inbio.ac.cr/es/biod/estrategia/Paginas/fra_ecosistemas.htm. Consultado el 28 de julio de 2009.

Instituto Geográfico Nacional (IGN). (1945). Fotografías aéreas CAW-11-111 a CAW-11-113. Escala 1:40.000. IGN. San José, Costa Rica.

IGN. (1964). Fotografías aéreas VV-HURD –M7/ AID 6 1316 a 318. Escala 1: 30.000. IGN. San José, Costa Rica.

IGN. (1971). Fotografías aéreas Misión 16 Línea 6 448 a 451; Misión 16 Línea 5 402 y 403. Escala 1: 20.000. IGN. San José, Costa Rica.

IGN. (1981). Fotografías aéreas IGN 22901 R-169 Línea 220 125 y 126. Escala 1: 40.000. IGN. San José, Costa Rica.

IGN. (1982). Cerro Azul. Escala 1:50.000. IGN. San José, Costa Rica.

IGN. (1982). Cerro Brujo. Escala 1:50.000. IGN. San José, Costa Rica.

IGN. (1982). Diria. Escala 1:50.000. IGN. San José, Costa Rica.

IGN. (1982). Hoja Garza. Escala 1:50.000. IGN. San José, Costa Rica.

IGN. (1982). Hoja Matambú. Escala 1:50.000. IGN. San José, Costa Rica.

Instituto Meteorológico Nacional (IMN). (2006a). Estación FERCO Garza. Promedios Mensuales de Datos Climatológicos. San José: Gestión de Información y Comercialización del Instituto Meteorológico Nacional.

IMN. (2006 b). Estación Nicoya. Promedios Mensuales de Datos Climatológicos. San José: Gestión de Información y Comercialización del Instituto Meteorológico Nacional.

IMN et al. (1996). Atlas del Cambio de Cobertura de la Tierra en Costa Rica 1979 – 1992. Proyecto Inventario Gases con Efecto de Invernadero. San José, Costa Rica.

Instituto Nacional de Estadísticas y Censos (INEC). (2009). Población por distrito. <http://www.inec.go.cr/>. Consultado el 28 de julio de 2009.

Instituto Tecnológico de Costa Rica (ITCR). (2008). Atlas digital de Costa Rica. Cartago, Costa Rica.

Kuypers, E. (1979). La geología del Complejo Ofiolítico de Nicoya, Costa Rica. Informe Semestral Julio – Diciembre: 15-75. San José, Costa Rica: Instituto Geográfico Nacional.

Mac Donald, D, et al. (1920). Informe final geológico y geográfico de Costa Rica. Rev. de Costa Rica, año 2: 28-32; 50-57; 106-111, 123-125, 139-148. San José, Costa Rica.

Madrigal, R. (1976). Turbidez de la mar provocada por el río Nosara, Guanacaste, Costa Rica. Informe Semestral. Enero a Junio 1976. San José: Instituto Geográfico Nacional.

Meza, T. (1979). Consideraciones generales sobre la morfoestructura y el modelado climático en los cerros de la Carpintera y su relación con el conjunto Irazú, Costa Rica. Trabajo Final de Graduación. Escuela de Geografía. Universidad de Costa Rica

Ministerio de Agricultura y Ganadería (MAG). (2010). Principales suelos de Costa Rica. http://www.mag.go.cr/biblioteca_virtual_ciencia/suelos-cr.html. Consultado el 20 de mayo de 2010.

Munsell Color. (2000). Munsell Soil Color Charts. MI, USA: X-rite.

Palma, A. (2006). Transporte y Almacenaje de Materia Orgánica en ríos. <http://www2.udec.cl/~lpalma/documentos/mop.htm>. Consultado el 7 de mayo del 2006

Pérez, O. (2007). Río arrasó dique que protegía a Nosara. Sección El País, La Nación.com, 15 de octubre de 2007. http://www.nacion.com/ln_ee/2007/octubre/15/pais1277833.html. Consultado el 18 de junio de 2009.

Pettijohn, F; P, Potter y R. Siever. (1987). Sand and Sandstone. Springer-Verlag, New York, 553 p.

Powers, M. (1953). A new roundness scale for sedimentary particles. Journal of Sedimentary Petrology 23: 117-119.

Proyecto Terra. (1998). Fotografías aéreas. Escala 1: 40.000. IGN. San José, Costa Rica.

Reineck, H y Singh, I. (1980). Depositional sedimentary environments with reference to terrigenous clastics. Berlin: Springer-Verlag.

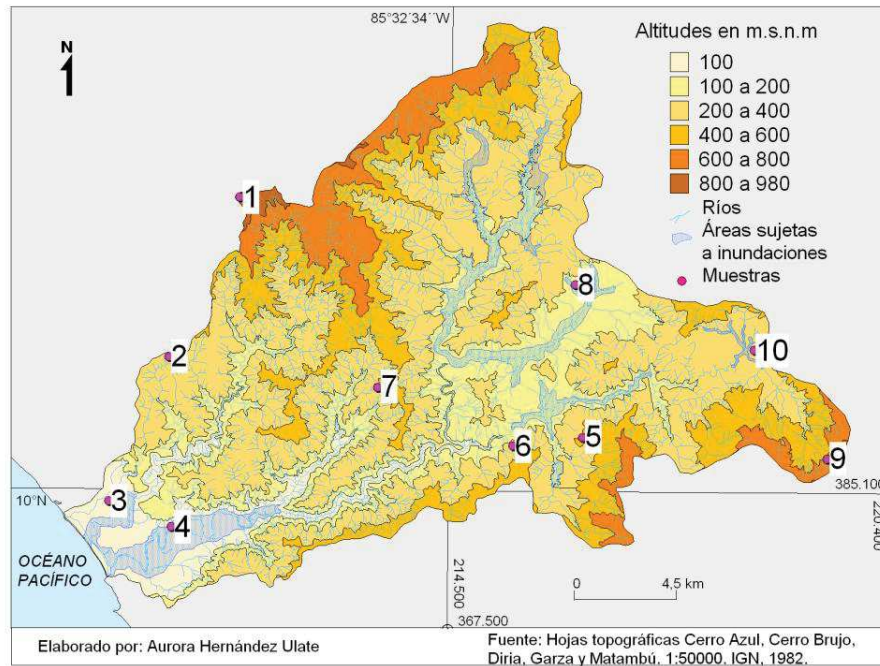
Retana, J y Solano, J. (2000). Relación entre las inundaciones en la cuenca del Tempisque el fenómeno de la niña y los rendimientos de arroz de secano. Instituto Meteorológico Nacional. Gestión de Desarrollo. San José, Costa Rica. http://www.imn.ac.cr/publicaciones/estudios/Nina_inundaciones_arroz_Guana.pdf. Consultado el 5 de marzo de 2009.

Rojas, G. (1978). Geomorfología aplicada al uso del suelo en la sección sureste de la hoja Abra, Costa Rica. Trabajo Final de Graduación. Universidad de Costa Rica.

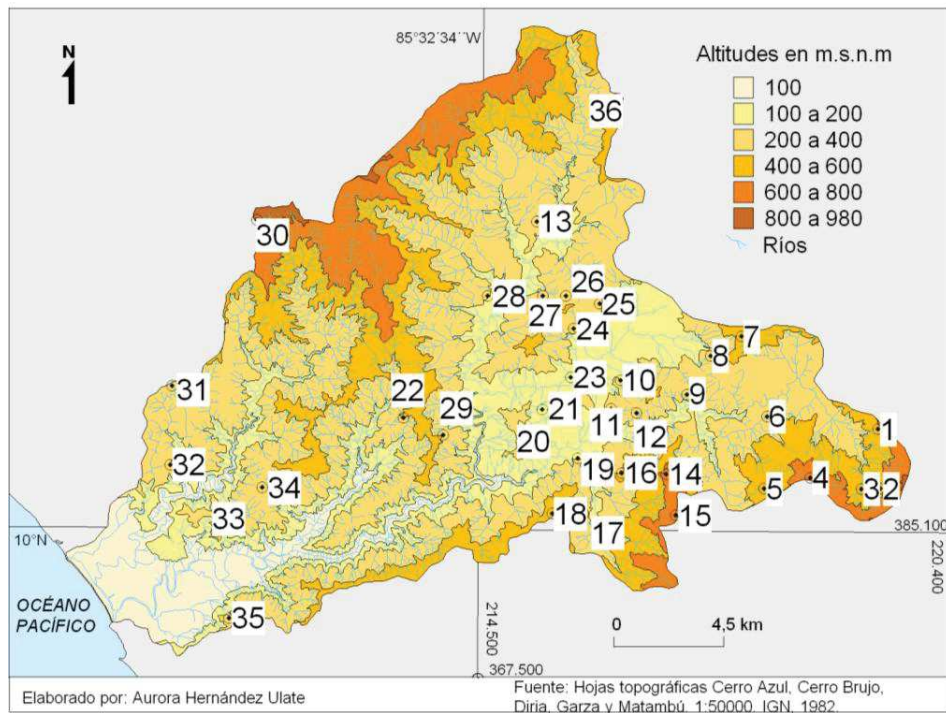
Romanes, J. (1912). Geological notes on the Peninsula de Nicoya, Costa Rica. Geol. Mag. London, 1912, 9:258-265.

- Sagredo, J. (1974). Geografía. Madrid: Ediciones Rioduero.
- Salazar, M. (2003). Evaluación de la restauración del paisaje en el cantón de Hojanca, Guanacaste, Costa Rica. Tesis de posgrado. Turrialba, Costa Rica: CATIE.
- Sapper, K. (1905). Ueber Gebirgsbau und boden des sudlichen mittelamerika Pettermanns geographische, 32: 1-82.
- Servicio Nacional de Aguas Subterráneas, Riego y Avenamiento (SENARA). (1993). Caudales. San José: SENARA.
- SENARA. (2003). Diagnóstico de los recursos hídricos subterráneos de la zona Guanacaste – Sector Sur. San José: SENARA.
- SENARA. (2006). Bases digitales. Escala 1:50.000. SENARA: San José, Costa Rica.
- Slingerland, R. and Smith, D. (1998). Necessary conditions for a meandering-river avulsion, *Geology (Boulder)*, 26, 435-38.
- Sprechmann, P. (ed). (1984). Manual de Geología de Costa Rica. Volumen 1. Estratigrafía. Editorial de la Universidad de Costa Rica. San José, Costa Rica.
- Stuädtmuller, T. (1994). Impacto hidrológico del manejo forestal de bosques naturales tropicales: medidas para mitigarlo. Turrialba, Costa Rica. Proyecto Silvicultura de Bosques Naturales. Colección Silvicultura y Manejo de Bosques Naturales N° 10, 64 p.
- Tapia-Varela, G y López-Blanco, J. (2002). Mapeo geomorfológico analítico de la porción central de la cuenca de México: unidades geomorfológicas a escala 1: 100.000. *Revista Mexicana de Ciencias Geológicas*, V.19, núm 1. p 50-65.
- Teruggi, M. (1982). Diccionario Sedimentológico, Volumen I: Rocas clásticas y piroclásticas. Librart: Buenos Aires.
- Thwaites, R. (2006). Color. Second Edition. Volumen I. Lal, Rattan (ed). En *Enciclopedia of soil science*. New York: CRC Press.
- Vargas, G. (2006). Geografía de Costa Rica. EUNED: San José, Costa Rica.
- Verstappen, H; R, Zuidam; A, Meijerink y J, Nossin. 1991. Sistema ITC para el levantamiento geomorfológico. Netherlands: International Institute for Aerospace Survey and Earth Sciences (ITC).
- Zeledón, R. 2001. Código Ambiental. San José: Editorial Porvenir.

Anexo 1. Sitios de muestreo



Sitios de las muestras procedas para la textura.

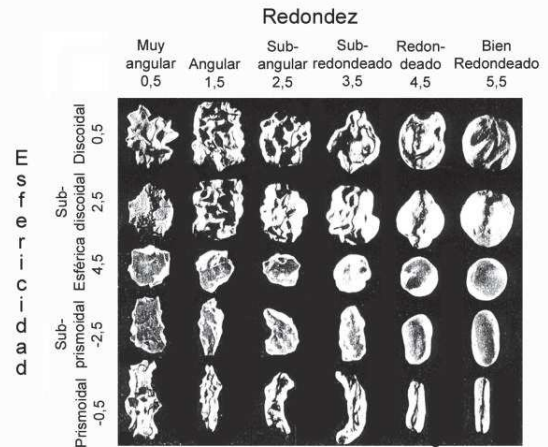


Sitios de muestreo de las formaciones superficiales en la cuenca hidrográfica del río Nosara

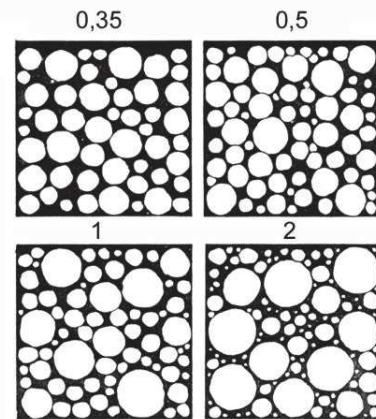
Anexo 4. Guía para la clasificación de los sedimentos

		Clasto	Sedimento	Sedimentita							
mm		Bloque	Aglomerado (Grava de bloques)	Aglomerado (conglomerado de bloques)	mm						
512	Psefitas Megaclastos Cantos rodados	Guijón	Grava - Cascajo	Gruesa	Cenicienta - Bracha	Grueso					
256							Guijarro	Mediana	Mediano		
128										Guija	Fina o gravilla
64		Granulo	Sábulo	Areniscas	Sabulita						
32	Psamitas Mesoclastos					Grano	Arenas	Muy gruesa	Muy gruesa		
16		Gruesa	Gruesa								
8				Mediana	Mediana						
4										Fina	Fina
2											
1	Pelitas Microclastos	Partícula	Limo	Grueso	Gruesa						
1/2				Mediano	Mediana						
1/4				Fino	Fina						
1/8				Muy fino	Muy fina						
1/16		Partícula	Arcilla	Gruesa	Gruesa						
1/32				Mediana	Mediana						
1/64				Fina	Fina						
1/128				Muy fina	Muy fina						
1/256				Muy fina	Muy fina						
1/512				Muy fina	Muy fina						
1/1024	Muy fina	Muy fina									
1/2048	Muy fina	Muy fina									
1/4096	Muy fina	Muy fina									

Clasificación de rocas basada en la escala granulométrica de Udden-Wenworth (Teruggi, 1982).



Clasificación de redondez y esfericidad (Powers, 1953).



Clasificación de la selección (Pettijohn et al, 1987).

Menos de 3,5: Muy bien seleccionado
 Entre 0,35 y 0,5: Bien seleccionado
 Entre 0,5 y 1: Moderadamente seleccionado
 Entre 1 y 2: Pobremente seleccionado
 Más de 2: Muy pobremente seleccionado

Características de los depósitos

Anexo 2



NOMBRE: Aurora Hernandez

aurorahernandezulate@gmail.com

Guanacaste, Nicoya, Nosara

Fecha 24/05/2010

# LAB	Muestra	% ARENA	% LIMO	% ARCILLA	TEXTURA
953	# 1	16	56	28	FAL
954	# 2	48	26	26	FAa
955	# 3	18	52	30	FAL
956	# 4	26	30	44	A
957	# 5	28	28	44	A
958	# 6	18	52	30	FAL
959	# 7	50	22	28	FAa
960	# 8	26	32	42	A
961	# 9	52	20	28	FAa
962	# 10	48	26	26	FAa

Anexo 3

Límites de Atterberg
Sector montañas

N° muestra	Límite de contracción	Límite de líquidez	Índice de plasticidad
5	25.8	51.8	5.4
8	21.6	57.7	10.5
9	27.3	46.6	6.5
13	30	47.4	10.1
30	24	59	7
31	14	49.4	9.5
36	36	45.5	8.2
total	178.7	357.4	57.2
promedio	25.5	51.1	8.2

Sector de Colinas onduladas a muy onduladas

N° muestra	Límite de contracción	Límite de líquidez	Índice de plasticidad
1	15.8	54.5	11.6
2	22.5	47.1	4.6
3	22.4	49.8	4.1
4	29.4	42.6	74.3
7	21.1	55.9	10
10	22.1	48.3	8.4
11	29.6	43.2	4.7
12	18.4	44.6	15.3
14	24.2	49.5	7.7
15	29	56.5	7.6
16	26.1	43.2	4.6
17	17.5	58.7	5.8
18	28	59.3	9.4
19	33.5	53.9	7.6
20	23.1	46.4	8.4
22	17	45.6	5.2
24	19.2	52.8	14
25	22.9	48.9	4.9
26	19.6	48.3	14.2
27	21	51.7	12.1
28	19.4	46.2	7.6
29	23.1	41.8	5.7
30	24	59	7
31	14	49.4	9.5
32	22.5	52.2	9.3
33	23.1	50	33
34	27	55.8	4.7
35	23.3	52.5	10.6
36	17.8	45.5	8.2
total	502.3	1453.2	330.1
promedio	17.3	50.1	11.4

Aluviones

N° muestra	Límite de contracción	Límite de líquidez	Índice de plasticidad
21	19.4	50.5	15.9
23	13.8	39.9	7.9
total	33.2	90.4	23.8
promedio	16.6	45.2	11.9

Suelos

N° muestra	Capacidad de		Conductividad hidráulica saturada
	campo	Saturación	
1	33.3	49.4	0.3
2	29.2	44.9	0.38
9	29.6	44.3	0.31
total	92.1	138.6	0.99
promedio	30.7	46.2	0.33

N° muestra	Capacidad de		Conductividad hidráulica saturada
	campo	Saturación	
5	39.6	48.7	0.07
6	35.6	49.3	0.27
7	29.9	44.5	0.31
total	105.1	142.5	0.65
promedio	35.03	47.5	0.22

N° muestra	Capacidad de		Conductividad hidráulica saturada
	campo	Saturación	
3	35.6	49.3	0.27
4	39.7	49.1	0.08
8	38.9	48.1	0.1
10	29.2	44.9	0.38
total	143.4	191.4	0.83
promedio	35.9	47.9	0.2