

UNIVERSIDAD ESTATAL A DISTANCIA
VICERRECTORÍA ACADÉMICA
ESCUELA DE CIENCIAS EXACTAS Y NATURALES
Programa de Maestría en Manejo de Recursos Naturales

**USO DE LA TIERRA Y TRANSPORTE DE SÓLIDOS EN SUSPENSIÓN EN LA CUENCA DEL
RÍO RINCÓN, PENÍNSULA DE OSA, PUNTARENAS, COSTA RICA.**

Tesis sometida a la consideración
Del Tribunal Examinador del Programa de Maestría en Manejo de Recursos Naturales
de la Escuela de Ciencias Exactas y Naturales para optar
al grado académico de:

Magíster Scientiae en Manejo de Recursos Naturales con Mención en Gestión Ambiental

Silvia Echeverría Sáenz

San José, Costa Rica
2009

Esta Tesis fue aprobada por el Tribunal Examinador del Programa de Maestría Académica en Manejo de Recursos Naturales, Sistema de Estudios de Posgrado, Escuela de Ciencias Exactas y Naturales, Universidad Estatal a Distancia.

M.Sc. Gerardo Umaña Villalobos (Director de Tesis)

M.Sc. Yamileth Astorga Espeleta (Asesora)

MSc. Oliver Bach Weithaeuser (Asesor)

M.Sc. Zaidett Barrientos Llosa

(Coordinadora de Maestría en Manejo de Recursos Naturales)

Ph.D. Nidia Lobo Solera

(Directora del Sistema de Estudios de Posgrado)

M.Sc. Luis Eduardo Montero Castro

(Director de la Escuela de Ciencias Exactas y Naturales)

Candidata M.Sc. Silvia Echeverría Sáenz

AGRADECIMIENTOS

Estoy muy agradecida con muchas personas. Algun@s me guiaron en la elaboración y revisión de este proyecto y además, con el único afán de ayudarme, fueron tan amables de revisar el documento final con buena voluntad y con mucha, mucha rapidez. Ell@s fueron la Directora de esta Maestría, Zaidett Barrientos y los miembros de mi comité de Tesis, Gerardo Umaña, Yamileth Astorga y Oliver Bach; muchas gracias, Uds. saben lo que esto significó para mí. Otr@s me ayudaron en el trabajo de campo, siempre colaborando, hasta en los momentos más cansados del trabajo o cuando yo necesitaba ayuda para que no me llevara la corriente ☺, eso sí, casi siempre con recompensa de ceviche. Gracias por esto a Davis y Eleazar, Uds. fueron indispensables. En el análisis de los datos y en el manejo de las herramientas de SIG que utilicé para realizar esta tesis me ayudaron Cata y Leo. Ellos tuvieron mucha paciencia para explicarme los procedimientos, revisar lo que hice y darme tips e información que fueron y serán muy útiles de aquí en adelante; muchas, muchísimas gracias a ambos. Oscar Chacón del INBio también respondió con mucha prontitud a todas las consultas que le hice. Hubo además personas que me dieron apoyo moral, alegría y ánimo, sobre todo en la fase final de esta tesis, que fue dura pero llena de satisfacciones, gracias a mi Diego, mis amig@s, hermanos, pá y má, tí@s y compañer@s de trabajo. Tod@s fueron muy importantes y les agradezco de corazón. También quiero agradecer al CIMAR el apoyo logístico, el financiamiento y el espacio físico que me brindaron para trabajar en este proyecto. ¡GRACIAS!.

INDICE DE CONTENIDOS

RESUMEN	1
ABSTRACT	2
MARCO TEÓRICO	3
DEFINICIÓN DE CUENCA HIDROGRÁFICA Y SU UTILIZACIÓN COMO UNIDAD DE ANÁLISIS	3
CONCEPTOS LIMNOLÓGICOS GENERALES.....	5
1. Tipo de cuerpos de agua	5
2. Caudal.....	5
3. Carga.....	6
4. Sólidos suspendidos	6
MAL USO DE LA TIERRA Y CONSECUENCIAS SOBRE EL RECURSO HÍDRICO.....	6
INTRODUCCIÓN	8
OBJETIVOS	11
OBJETIVOS	11
OBJETIVO GENERAL.....	11
OBJETIVOS ESPECÍFICOS	11
METODOLOGÍA	12
ÁREA DE ESTUDIO.....	12
IDENTIFICACIÓN DEL USO DE LA TIERRA	14
CONCORDANCIA CAPACIDAD DE USO VS. USO DE LA TIERRA	15
DETERMINACIÓN DE LA CARGA DE SÓLIDOS EN SUSPENSIÓN	16
RELACIÓN DE LA CARGA DE SÓLIDOS SUSPENDIDOS CON EL USO DE LA TIERRA	17
ESTIMACIÓN DE LA CARGA TOTAL DE SEDIMENTO	20
RESULTADOS	21
USO DE LA TIERRA	21
RELACIÓN DE LA CONCENTRACIÓN DE SÓLIDOS SUSPENDIDOS CON EL USO DE LA TIERRA.....	24
CONCORDANCIA CAPACIDAD DE USO VS. USO DE LA TIERRA	35
ESTIMACIÓN DE LA CARGA TOTAL DE SEDIMENTO	36
DISCUSIÓN	38
USO DE LA TIERRA	38
RELACIÓN DE LA CONCENTRACIÓN DE SÓLIDOS SUSPENDIDOS CON EL USO DE LA TIERRA.....	40

CONCORDANCIA CAPACIDAD DE USO VS. USO DE LA TIERRA	44
ESTIMACIÓN DE LA CARGA TOTAL DE SEDIMENTO	46
REFERENCIAS.....	51

INDICE DE FIGURAS

<i>Figura 1. Cuencas hidrográficas de la Península de Osa. Al centro, en color celeste, se observa la cuenca en estudio. Fuente: Centro Centroamericano de Población, UCR.</i>	12
<i>Figura 2. Mapa de ubicación de los puntos de muestreo junto con sus subcuencas asociadas. Cuenca del Río Rincón, Península de Osa.</i>	19
<i>Figura 3. Fotografía del Río Rincón (punto de muestreo Rincón 1). Setiembre, 2009.</i>	25
<i>Figura 4. Mapa de ubicación de los puntos de muestreo en la cuenca del Río Rincón, Península de Osa.</i>	26
<i>Figura 5. Log-Concentración de sólidos en suspensión (SS) (intervalos LSD de Fischer) en la zona alta, media y baja de la cuenca del Río Rincón, Península de Osa, Junio-Diciembre, 2005 y Marzo, 2006.</i> __	28
<i>Figura 6. Log-Concentración de sólidos en suspensión (SS) (intervalos LSD de Fischer) para cada punto de muestreo en la cuenca del Río Rincón, Península de Osa, Junio-Diciembre, 2005 y Marzo, 2006.</i> __	28
<i>Figura 7. Concentración de sólidos en suspensión durante los meses de muestreo (Junio-Diciembre, 2005 y Marzo, 2006), en la cuenca del Río Rincón, Península de Osa.</i>	29
<i>Figura 8. Fotografías tomadas en el Río Rincón durante los meses de Octubre 2005 y Marzo 2006, Península de Osa.</i>	30
<i>Figura 9. Log- precipitación promedio mensual (intervalos LSD de Fischer) durante los meses de muestreo (Junio-Diciembre, 2005 y Marzo, 2006), en la cuenca del Río Rincón, Península de Osa. Fuente de los datos de precipitación: Instituto Meteorológico Nacional.</i>	31
<i>Figura 10. Modelo ajustado entre: A. Log- concentración de sólidos en suspensión promedio y la precipitación acumulada, y B. Log- concentración de sólidos en suspensión promedio y la precipitación</i>	

promedio mensual, durante los meses de muestreo (Junio-Diciembre, 2005 y Marzo, 2006), en la cuenca del Río Rincón, Península de Osa. Fuente de los datos de precipitación: Instituto Meteorológico Nacional.

32

Figura 11. Curva de precipitación promedio mensual (mm) durante los meses de muestreo (Junio-Diciembre, 2005 y Marzo, 2006) y concentración promedio de sólidos en suspensión (g/m^3), en la cuenca del Río Rincón, Península de Osa. Fuente de los datos de precipitación: Instituto Meteorológico Nacional.

33

Figura 12. Log Caudal (m^3/s) calculado durante los meses de muestreo (Junio-Diciembre, 2005 y Marzo, 2006), en la cuenca del Río Rincón, Península de Osa.

34

Figura 13. Gráfico log-log de caudal por concentración durante los meses de muestreo (Junio-Diciembre, 2005 y Marzo, 2006), en la cuenca del Río Rincón, Península de Osa.

34

Figura 14. Mapa de conflicto de uso de la tierra en la cuenca del Río Rincón, Península de Osa.

37

INDICE DE CUADROS

- Cuadro 1. Matriz de “uso” vs. “capacidad de uso” donde se observa cómo se realizó la clasificación de sobreutilización, subutilización y uso adecuado.* _____ 15
- Cuadro 2. Puntos de muestreo con sus subcuencas asociadas y las áreas de cada una de ellas. Cuenca del Río Rincón, Península de Osa.* _____ 19
- Cuadro 3. Superficie expresada como número de hectáreas (ha) y porcentaje (%) de bosque presente en cuencas de la Península de Osa.* _____ 21
- Cuadro 4. Distribución de categorías de uso de la tierra por subcuenca (expresado como número de hectáreas (ha) y porcentaje (%) relativo al área de la(s) subcuenca(s) asociada(s)). Cuenca del Río Rincón, Península de Osa.* _____ 23
- Cuadro 5. Promedio y desviación estándar de la profundidad, ancho del cauce y concentración de sólidos en suspensión (SS) en los puntos de muestreo. Cuenca del Río Rincón, Península de Osa, 2005.* _____ 24
- Cuadro 6. Pares de puntos de muestreo (Contraste) que presentan diferencias significativas en cuanto a sus concentraciones de sólidos en suspensión. Cuenca del Río Rincón, Península de Osa, 2005.* _____ 29
- Cuadro 7. Porcentajes de concordancia del uso real de la tierra con su capacidad de uso, en la cuenca del Río Rincón, Península de Osa.* _____ 35
- Cuadro 8. Cálculo de carga de sólidos en suspensión (ton/mes) y toneladas totales durante los meses de lluvias, en los puntos de muestreo “Puente” y “Desembocadura”. Cuenca del Río Rincón, Península de Osa. 2005.* _____ 37

USO DE LA TIERRA Y TRANSPORTE DE SÓLIDOS EN SUSPENSIÓN, CUENCA DEL RÍO RINCÓN, PENÍNSULA DE OSA, COSTA RICA

SILVIA ECHEVERRÍA SÁENZ

Maestría en Manejo de Recursos Naturales, Universidad Estatal a Distancia, Costa Rica.

Unidad de Investigación de Pesca y Acuicultura, CIMAR, Universidad de Costa Rica, San José, Costa Rica. Tel. 2511-3006; e-mail: sipama14@yahoo.com

Instituto Regional de Estudios en Sustancias Tóxicas, Universidad Nacional, Heredia, Costa Rica. Tel. 2277-3885; e-mail: sechever@una.ac.cr

RESUMEN

Las actividades económicas desarrolladas en las cuencas hidrográficas, tienen repercusiones sobre el ambiente. Algunas son pérdida de suelo, deterioro de la calidad del agua en los cauces, aumento en la carga de sólidos suspendidos y aumento en la turbidez de las aguas. Los sólidos suspendidos transportados por los ríos, llegan a las aguas costeras y dificultan la fotosíntesis, alteran el hábitat de las comunidades bentónicas y provocan mortalidad de corales, entre otros impactos. El Golfo Dulce se considera un sitio único en los trópicos debido a su semejanza con un fiordo, lo que confiere especial importancia a los ríos que acarrear materiales y nutrientes hacia el mismo. En esta investigación se relacionó los usos de la tierra en la cuenca del Río Rincón, con la carga de sólidos en suspensión presente en sus ríos principales, durante la estación lluviosa del año 2005. También se determinó la concordancia de los usos de la tierra, con su capacidad de uso. Para realizarlo, se muestreó los ríos en 11 diferentes puntos distribuidos en la cuenca alta, media y baja. El uso de la tierra en las áreas de influencia para cada punto, se determinó utilizando sistemas de información geográfica. El uso predominante en la cuenca del Río Rincón es el bosque (74%), seguido de pastos y cultivos (18%) y charrales y tacotales (6%). Se determinó que los puntos ubicados en la parte baja de la cuenca presentaban mayores concentraciones de sólidos suspendidos que los puntos de la zona alta. Asimismo, se observó una correlación positiva significativa entre el porcentaje de la categoría de uso "pastos y cultivos" y la carga de sedimentos en los ríos, mientras que una correlación negativa se encontró al relacionar la carga con el porcentaje de "bosque". La mayoría de la cuenca (87%) se está utilizando de acuerdo con su capacidad de uso, sin embargo sí se observó una sobreutilización de hasta un 11.5% en la parte alta de la subcuenca

del Río Riyito. La carga total de sólidos en suspensión que se transportaron al Golfo Dulce durante la estación lluviosa del año 2005 se estimó en casi 15 000 toneladas (105.4 t/km²/año). Se considera que esta carga es alta si se le compara con el promedio para cuencas en bosque lluvioso (25 t/km²/año). Se recomienda promover la reforestación y protección del bosque y el mantenimiento de franjas de vegetación ribereña para ayudar a disminuir los sedimentos que escurren hasta los cauces.

PALABRAS CLAVE: sólidos en suspensión, uso de la tierra, Península de Osa, Río Rincón, Pacífico sur de Costa Rica, cuencas hidrográficas.

ABSTRACT

Economic activities in watersheds have consequences on the environment. Some of these are soil loss, water quality deterioration, increased suspended solids and turbidity. Suspended solids are transported by rivers into coastal waters, obstructing photosynthesis, changing the habitat of benthic communities and inducing coral mortality, among other impacts. Rivers that drain in to the Golfo Dulce are very important since they transport materials and nutrients towards this gulf, considered a unique site in the tropics given its resemblance with a fjord. This research intended to relate the different land uses in the Río Rincón watershed with the sediment load in its main rivers, during the rainy season of 2005. Also, the agreement between actual land uses and land use capacity was determined. Suspended solid samples were taken at 11 sites, distributed over high, middle and lower elevations. Land use in the influencing areas for each site, was determined with geographic information systems. The dominant land use in the Río Rincón watershed is forest (74%), followed by pastures and crops (18%), and thickets (6%). Sites located at the lower part of the basin presented higher suspended solids concentrations than the ones located at higher elevations. Likewise, a significant positive correlation was observed between the percentage of pastures and crops, and the sediment load at the sites. Also, a negative correlation was found between percentage forest and sediment load. Most part of the land in the basin (87%), is being used in accordance with its capacity, however, the overexploitation of the land reached up to 11.5% in the upper part of the Río Riyito sub-basin. Total suspended sediment load transported into the Golfo Dulce during the rainy season 2005, was estimated in almost 15 000 tons (105.4 t/km²/year). This load can be considered high when compared with the average of other forest dominated watersheds (25 t/km²/year). Reforestation as well as protection of the forest and riparian forest fringes, are recommended to diminish the

amount of sediments that drain into the rivers.

KEY WORDS: suspended solids, land use, Península de Osa, Rincón river, South Pacific Costa Rica, watersheds.

MARCO TEÓRICO

DEFINICIÓN DE CUENCA HIDROGRÁFICA Y SU UTILIZACIÓN COMO UNIDAD DE ANÁLISIS

Una cuenca hidrográfica es una unidad territorial en la que el agua precipitada se reúne y escurre a un punto común. Está delimitada naturalmente por la existencia de una divisoria geográfica principal de las aguas de precipitación y en forma práctica corresponden a las partes más altas del área que encierra un río (Jiménez 2004, Franquet 2005). Abarca no solamente la superficie, a lo largo y ancho, sino también la profundidad, desde el extremo superior de la vegetación hasta los estratos geológicos limitantes bajo la tierra (Franquet 2005). Es además, una porción de territorio drenada por un sistema de tributarios que contribuyen a alimentar un curso de agua principal, el cual conduce las aguas hasta su nivel de base, el cual puede ser otra cuenca, un lago o el mar (Jiménez 2004, Franquet 2005).

De acuerdo con Jiménez (2004), las cuencas hidrográficas se pueden subdividir en tres zonas de funcionamiento hídrico: una zona de cabecera, que garantiza la captación inicial de las aguas y el suministro de las mismas a las zonas inferiores; una zona de captación-transporte, que recoge esas aguas y las lleva a través de la cuenca; y una zona de emisión, que es el destino final de las aguas de esa cuenca. También se puede dividir la cuenca en “cuenca alta” que corresponde a las áreas montañosas, de topografía empinada, limitadas en su parte superior por las divisorias de aguas; “cuenca media” que comprende las zonas de piedemonte y valles bajos donde el río mantiene un curso definido y “cuenca baja”, que a menudo tiene más importancia para la agricultura y los asentamientos humanos, porque ahí se encuentran las áreas más planas. La parte baja incluye también áreas transicionales como estuarios y humedales (Jiménez 2004, Franquet 2005).

Se presenta la cuenca como un verdadero sistema, ya que está formada por un conjunto de elementos que se interrelacionan, presenta un límite definido y tiene entradas y salidas. Esta interacción entre las partes (cuenca alta, media y baja; elementos agua, bosque, suelo y

estratos geológicos), permite el funcionamiento del sistema (Jiménez 2004), el cual hace que los procesos en las partes altas de las cuencas tengan repercusiones en la parte baja debido al flujo unidireccional del agua (Ramírez y Viña 1998, Franquet 2005). Asimismo, el agua (lluvia y flujos superficiales) que corre a través de la red de drenaje, promueve el desprendimiento y arrastre de partículas (nutrientes, materia orgánica, sedimentos, etc.), las cuales se distribuyen ayudando a modelar el relieve y a la formación de suelos en las laderas, así como en la distribución de la vegetación en la cuenca (PNUMA 2000, Jiménez 2004).

Los bosques que se ubican en las cabeceras de las cuencas cumplen una función muy importante, contribuyen a regular la cantidad y temporalidad del flujo de agua, ya que la presencia de la vegetación, favorece la capacidad de retención del agua en el suelo, acción que dosifica la escorrentía del agua llovida hacia las corrientes, con dos ventajas: 1. las precipitaciones muy fuertes no desencadenan crecientes drásticas, protegiendo también a los suelos de ser erosionados por el agua con la consecuente sedimentación y degradación de los ríos; y 2. permiten que se mantenga el agua en los cauces durante la estación seca (Ramírez y Viña 1998, ICE 1999, Jiménez 2004, Bruijnzeel 2004).

Bajo condiciones de lluvias que superan la capacidad de infiltración de los suelos, o de prácticas antrópicas inadecuadas (deforestación, sobrepastoreo, quema, agricultura intensiva, apertura de vías de comunicación o construcción, etc.), la escorrentía arrastra con nutrientes, minerales y sedimentos, causando erosión, pérdida de producción en los suelos, deslizamientos, disminución de la capacidad hidráulica de los drenajes naturales, caudales pico que causan desbordamiento de los ríos e inundaciones y otros fenómenos que disminuyen la calidad de vida de los pobladores y la sostenibilidad ecológica de los ecosistemas (Ramírez y Viña 1998, Brenes *et al.* 1987, Borbón 2000, Gómez 2002, Estado de la Nación 2003). Se ha observado que la erosión superficial y la sedimentación en las cuencas normalmente muestran incrementos cuando se remueve el bosque (Bruijnzeel 2004).

La cuenca constituye una unidad espacial ecogeográfica relevante para analizar los procesos ambientales generados como consecuencia del uso y manejo de los recursos naturales. Es el espacio de referencia ideal para la planificación de medidas destinadas a corregir los impactos ambientales producto de estos usos, ayudando a satisfacer las necesidades de la sociedad, sin acelerar la degradación de los recursos (Jiménez 2004). La cuenca es una buena escala de evaluación, ya que el ciclo hidrológico y todas sus variables de medición, se puede analizar a nivel de cuenca, de ahí que ésta sea considerada como la unidad

lógica de gestión del recurso hídrico (Fanlo 2007). Los efectos de fragmentación de hábitat, de fuentes no puntuales u otros estresores, podrían subestimarse si se usan escalas espaciales más pequeñas (Diamond *et al.* 2002).

CONCEPTOS LIMNOLÓGICOS GENERALES

1. Tipo de cuerpos de agua

De acuerdo con Ramírez y Viña (1998), en el estudio de la limnología, la principal característica de un cuerpo de agua es su condición léntica (aguas no corrientes; lagos, lagunas, ciénagas) o lótica (ríos, quebradas). En estos últimos, el agua corre de manera natural por gravedad y su flujo generalmente es turbulento, lo cual permite una mayor reoxigenación, mayor arrastre de sólidos, menor penetración de la luz y temperaturas bajas.

2. Caudal

El caudal en un curso lótico constituye el volumen de agua que se mueve o desplaza por su cauce en una unidad de tiempo y se expresa como metros cúbicos por segundo (m^3/s), o litros por segundo (l/s). Está influenciado por variables como precipitación, escorrentía, infiltración, uso del suelo, topografía y área de drenaje, principalmente. También se ve modificado por la época del año, siendo mayor durante la estación lluviosa y menor durante la estación seca, aunque existe un ligero desplazamiento con relación a la precipitación, por retraso de la escorrentía y la infiltración. Así, pueden mantenerse caudales altos durante la transición de lluvias a sequía y bajos durante la transición de sequía a lluvias (Ramírez y Viña 1998).

Para calcular el caudal se multiplican la velocidad de la corriente y el área de la sección de un curso, o puede inferirse de manera indirecta a partir de la pluviosidad, el área de drenaje y un coeficiente de escorrentía que varía según la permeabilidad del suelo. También se puede deducir el caudal de un curso lótico según éstos tengan o no tributarios: de *primer orden*, no reciben ningún afluente, su área de drenaje es limitada y, por lo tanto, sus caudales son reducidos; de *segundo orden*, reciben afluentes primarios y por consiguiente llevan mayores volúmenes de agua; los ríos de tercer o más orden son los de mayores caudales pues reciben tributarios de primer y segundo orden o más (Ramírez y Viña 1998).

El caudal constituye además, una variable ambiental muy importante porque determina la capacidad de dilución ante eventos o vertimientos, la capacidad de reoxigenación y por ende, la autodepuración de los cursos hídricos.

3. Carga

La carga expresa la cantidad (masa) de un compuesto o elemento que es transportada a través de un cuerpo lóxico por unidad de tiempo. Se calcula multiplicando la concentración de un compuesto por el caudal y puede expresarse en kg/día, t/mes, etc., según las magnitudes obtenidas. Las cargas de sedimento, nitrógeno y fósforo de un río, tienden a asociarse con actividades antrópicas en una región dada.

4. Sólidos suspendidos

Los sólidos totales incluyen aquéllos que están disueltos y aquéllos que se encuentran suspendidos, los disueltos son partículas menores de 1,2 micras, los mayores corresponden a los suspendidos, los cuales se pueden determinar por filtración. Estos últimos se componen de arcillas, limos, materia orgánica finamente dividida o incluso plancton y otros microorganismos. Como norma general los cursos de agua exhibirán una menor concentración de sólidos suspendidos en la cuenca alta e irá aumentando a medida que se avanza hacia la cuenca baja.

MAL USO DE LA TIERRA Y CONSECUENCIAS SOBRE EL RECURSO HÍDRICO

Un conflicto de uso de la tierra se observa cuando las tierras se están usando de manera diferente a lo que indica la capacidad de uso. Esto puede generar un sobreuso o un subuso. Este último se produce cuando se lleva a cabo una actividad productiva de baja intensidad, en un terreno con capacidad para soportar mayor intensidad. El sobreuso, en cambio, sucede cuando se desarrollan actividades productivas de intensidad tal que no permiten su sostenibilidad a largo plazo, como por ejemplo los usos agrícolas o ganaderos en tierras de capacidad forestal (Maldonado 1997, CADETI 2004).

Desde el punto de vista de la sostenibilidad ambiental, la mejor práctica de conservación de suelos es usar la tierra de acuerdo con su propia capacidad (CADETI 2004). Sin embargo, los bosques, las tierras forestales y las praderas siguen sufriendo degradación a nivel mundial.

Entre 1990 y 1995 se perdieron 65 millones de hectáreas de bosque, lo cual es una muestra clara de la degradación de tierras y ecosistemas que se sigue presentando en el planeta (PNUMA 2000). Los sólidos suspendidos, formados por partículas del suelo arrastradas por las tormentas y escorrentías y procedentes de tierras de cultivo, explotaciones mineras o derribos urbanos, han aumentado considerablemente en los ríos a nivel mundial en los últimos 25 años, además, las descargas de estos y otros contaminantes están degradando las zonas costeras de todo el mundo (ICWE 1992, Franquet 2005). Se registra una clara degradación ambiental de las tierras pantanosas, estuarios, manglares y arrecifes de coral (PNUMA 2000). Aunado a esto, más del 80% de la contaminación marina se deriva de fuentes terrestres, las cuales se comunican al mar por medio de los ríos y sus desembocaduras (Lautenbacher 2007).

Como se mencionó anteriormente, una causa del deterioro de las aguas superficiales y de la calidad del suelo, es la erosión (Bertie 2000, PNUMA 2000). Esta es provocada tanto por fenómenos naturales (deslizamientos de estabilización natural, huracanes y terremotos), como por el uso de prácticas antrópicas inapropiadas (Ramírez y Viña 1998, Bertie 2000, Jiménez 2004). En muchos casos, la erosión de los suelos ha sido identificada como la principal fuente del flujo de sedimentos, reflejando el impacto ambiental de varios tipos de uso del suelo como la forestería comercial, pastoreo, entre otros (Collins y Walling, 2004). Según Mora (1987), casi toda la zona rural en Costa Rica presentaba erosión acelerada debido al cambio en el uso de las tierras.

En Costa Rica, las políticas de desarrollo económico en las últimas cinco décadas, procuraron y estimularon las actividades productivas por encima de las de conservación y protección de los recursos. Asimismo buscaron un crecimiento de la frontera agrícola, lo que ha provocado degradación y deterioro del recurso forestal y un fuerte impacto sobre la biodiversidad (CADETI 2004).

En el país existen 34 sistemas hidrográficos o cuencas hidrográficas, divididas en 55% sobre la Vertiente pacífica y 45% en las sub-vertientes norte y caribe. Varios de estos sistemas presentan un grado de alteración importante, acrecentados por la sobre-explotación de los recursos naturales, incluyendo el agua misma de la cuenca, y las diversas alteraciones ambientales (CADETI 2004). Un 26% de los suelos está siendo sobreutilizado y el 10% del territorio costarricense ya da serias muestras de degradación. En algunas cuencas se estiman sobreusos superiores a 30% y 40% (Estado de la Nación 2006).

En Costa Rica existen también análisis específicos que demuestran un aumento en los sedimentos de los ríos (Estado de la Nación 2003, Pizarro 2004) y se indica que muchas aguas costeras transportan una cantidad excesiva de sedimentos y están contaminadas por microorganismos y nutrientes orgánicos. Para la adecuada conservación del recurso hídrico es indispensable proteger la cobertura forestal. Sin embargo, en algunas cuencas, ésta se ha reducido drásticamente. Los daños al recurso hídrico como resultado del mal manejo de las actividades humanas, constituyen uno de los impactos ambientales más comunes en el país. Los ríos reflejan con gran fidelidad la situación ambiental de su cuenca, ya que reciben todo el impacto de las actividades humanas y terminan transportándolo hacia el mar. Ejemplos de ello son las aguas en las desembocaduras de los ríos Tárcoles, Tempisque y Grande de Térraba (Estado de la Nación 2003, Fuller *et al.* 1990, Pizarro 2004).

INTRODUCCIÓN

Todas las actividades realizadas en tierra, en las partes altas y medias de las cuencas, tienen repercusiones sobre los suelos de la cuenca y posteriormente sobre la parte baja de las mismas (a través de los ríos), en sus desembocaduras y finalmente en el mar.

Las comunidades bentónicas, los arrecifes de coral, lechos de algas marinas, sustratos rocosos y playas son algunos de los ecosistemas más vulnerables (Cortés 1990, 1992, Mata y Blanco 1994). Se ha observado que los aumentos en la carga de sedimentos, dificultan el proceso de fotosíntesis y por consiguiente, la realización de las funciones básicas del metabolismo de diversos organismos (Capó Martí 2007). También, se ha señalado que el cambio en los materiales depositados (de arena a arcillas) puede causar alteraciones en las comunidades de los organismos habitantes de fondos marinos, las cuales podrían tener repercusiones en las cadenas tróficas y en la productividad (Umaña 1998).

En nuestro país se han realizado varios estudios relacionados con cuencas hidrográficas y contaminación, entre ellos el de Coto (1971), Porras (1976), Vega (1976), Cordero (1977), Rodríguez (1981), Ramírez (1987), Charpantier y Tabash (1988), Tabash (1988), Fuller *et al.* (1990), Valiente (1993), Silva-Benavides (1996) y Michels (1998a, b), que se enfocaron más bien en la búsqueda de métodos para medir eficazmente la contaminación en varias cuencas, monitorearla eficientemente y observar sus efectos sobre los ecosistemas acuáticos. Los

estudios relacionados con sedimentación, han tenido una visión más ingenieril (Herrera 1978, ICE 1999, Borbón 2000, Castro 2004, Gómez 2002, López 2001), ya que se deben a la necesidad de aumentar la vida útil de los embalses de producción de hidroelectricidad, por medio de la disminución de la carga de sedimentos en los cauces de interés o se hicieron para probar metodologías de estimación de erosión-sedimentación.

Otras iniciativas incluyen el uso de modelos matemáticos para tratar de medir las variaciones en la producción de sedimentos a través de varios años o para relacionar esta producción con el uso de la tierra (Cuenca del Río Térraba; Krishnaswamy 1999, Krishnaswamy *et al.* 2001). Otros estudios analizaron eventos hidrológicos específicos (por ej. una tormenta), y, conociendo el uso de la tierra en determinada cuenca, determinaron el origen de los sedimentos en esos eventos específicos (Jansson 2002, Jansson y Strömberg 2004).

En la Península de Osa, Umaña (1998) caracterizó algunos de los ríos que drenan al Golfo Dulce, como una forma de evaluar la conexión existente entre los ecosistemas terrestres y marinos en esta zona. Se indica que las cuencas de los ríos que drenan al Golfo, tienen gran importancia pues sus cauces sirven para transportar materiales y nutrientes hacia el mismo, el cual es considerado como un sitio único en los trópicos, debido a su semejanza con un fiordo (Hebbeln y Cortés 2001, Svendsen *et al.* 2006).

A pesar de lo anterior, estos ríos han sido impactados por deforestación; sus zonas bajas están casi completamente deforestadas, convirtiéndose en zonas de pastos y cultivos (entre 1940-1995 la cobertura de bosque de Osa pasó de 81% a 55%, es decir, una reducción de 40 000 ha), crecimiento urbano, en el mismo intervalo de años la población aumentó de 2 000 a 11 000 habitantes (Rosero-Bixby *et al.* 2002), y minería de oro, la cual continúa dándose (Brenes *et al.* 1987, Berrangé 1992, González 1992). Todas estas prácticas han provocado erosión de los bancos y fondos de los ríos, eliminación de la vegetación ribereña y aumentos en la carga de sólidos en suspensión (González 1992).

Prueba de esta carga de sólidos en suspensión es que se ha observado una amplia dominancia de sedimentos terrígenos en muestras de sedimento marino del Golfo Dulce (Hebbeln y Cortés 2001) y que se han reportado grandes daños en los arrecifes coralinos, debidos a la sedimentación (Cortés 1992).

En el estudio realizado por Umaña (1998) los sólidos suspendidos de los ríos analizados

mostraron gran variabilidad, con concentraciones de 19.5 hasta 1452 mg/l, con un valor extremo de hasta 4287.5 mg/l, el cual fue producto del trabajo con tractores para la construcción de diques en el Río Coto-Colorado. Esto demuestra que una sola actividad humana puede provocar grandes impactos, más aún cuando esta carga de sólidos en suspensión finalmente se transporta y deposita en el Golfo Dulce.

Prácticas como ésta y otras como la construcción de caminos, ya sea de comunicación o para extracción de madera, generan eventos erosivos de gran magnitud en la Península. En la microcuenca del Río Riyito, la tasa de erosión para un sólo camino maderero (entrada a Tanques de agua) se encontró entre un mínimo de 226 ton/ha/año hasta un máximo de 3215 ton/ha/año en las zonas de mayor pendiente. Este camino, que fue construido y utilizado en 1998, se cerró temporalmente y fue reabierto en el año 2000. La erosión provocada por su reapertura fue tan severa que el agua de los tanques municipales no se pudo tomar pues presentó un excesivo contenido de sedimentos (Bertie 2000).

Un mejor entendimiento de las fuentes de sedimentos suspendidos en las cuencas, representa un requisito esencial para el diseño y la implementación de estrategias definidas de manejo, que ayuden a controlar problemas ambientales potenciales; incluso los que pueden generarse hacia afuera del área de la cuenca, como en el caso del Golfo Dulce (Collins y Walling 2004, Sponberg 2004).

Debido a la gran importancia y unicidad del Golfo Dulce, a la fragilidad de sus hábitats y al hecho de que la carga de sólidos suspendidos ha sido reportada en diversas ocasiones como un problema en este sistema, tanto a nivel de las zonas continentales (cuencas hidrográficas) como en los ambientes marinos (Cortés 1990, 1992, González 1992, Berrangé 1992, Umaña 1998), esta investigación establece una relación entre los usos de la tierra en la cuenca, la concordancia de éstos con su capacidad de uso y la carga de sólidos suspendidos presentes en los cauces que la conforman.

OBJETIVOS

OBJETIVO GENERAL

- Evaluar si las distintas categorías de uso de la tierra en la cuenca del Río Rincón tienen incidencia sobre la concentración de sólidos en suspensión presente en el cauce del río.

OBJETIVOS ESPECÍFICOS

1. Identificar los usos de la tierra de la cuenca del Río Rincón.
2. Analizar la vulnerabilidad en el uso de la tierra en la cuenca del Río Rincón.
3. Determinar la concentración de sólidos en suspensión presente en puntos clave del cauce del río Rincón, aguas abajo de grandes categorías de uso de la tierra y en los sitios de entrada de afluentes.
4. Establecer la relación entre las diferentes categorías de uso de la tierra y la concentración de sólidos en suspensión en la cuenca del Río Rincón.
5. Estimar la carga total de sólidos en suspensión que esta cuenca aportó al Golfo Dulce en el período de tiempo estudiado.

METODOLOGÍA

ÁREA DE ESTUDIO

El presente trabajo se realizó en la cuenca hidrográfica del Río Rincón, ubicada en la Península de Osa, Área de Conservación Osa, Cantón de Golfito, Provincia de Puntarenas (Fig. 1). Dentro de esta cuenca se encuentra una reserva indígena de la etnia Guaymí y parte del Parque Nacional Corcovado.

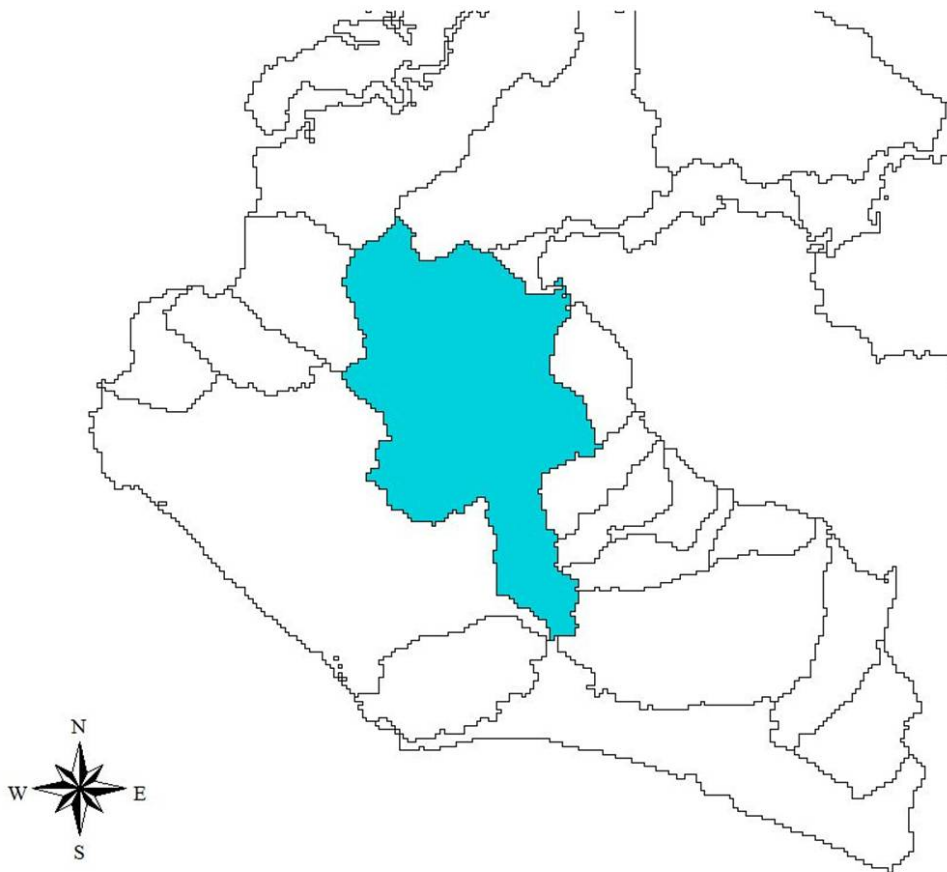


Figura 1. Cuencas hidrográficas de la Península de Osa. Al centro, en color celeste, se observa la cuenca en estudio. Fuente: Centro Centroamericano de Población, UCR, 2002.

La Península de Osa, en el Pacífico sur de Costa Rica, es una superficie de tipo rugosa y montañosa, rodeada de piedemontes y llanuras fluvio-marinas. Su eje mayor se orienta de este a oeste, en una longitud de 57 km y su eje menor de dirección norte-sur de 26 km (Berrangé 1992). La altitud máxima de la Península está en el Cerro Brujo, a 782 msnm (Rosero-Bixby *et al.* 2002).

Su clima es tropical muy húmedo. La precipitación promedio anual es de 4 000 a 6 500 mm. La época de mayores lluvias es de mayo a noviembre, siendo octubre el mes más lluvioso de todos, con un promedio de 600 mm; enero y febrero son los más secos (75 mm). La estación seca es corta, mientras que la lluviosa es severa, torrencial, con inundaciones en las áreas de llanura y desbordamiento de ríos. En estas condiciones los suelos se mantienen saturados durante siete meses (González 1992).

Las temperaturas en la península pueden llegar a mínimos de 18 y máximos de 32°C, con un promedio de 24°C. La vegetación natural es propia de las zonas de vida del bosque tropical húmedo y muy húmedo y de transición a premontano (González 1992). Cerca del 70% de las tierras tienen capacidad de uso forestal (Rosero-Bixby *et al.* 2002).

Los suelos predominantes son los ultisoles (suelo rojizo, profundo, arcilloso y ácido), inceptisoles (suelos rojizos, poco profundos y poco desarrollado, en zonas de montaña), mollisoles (suelo de textura media, oscuro, desarrollado) y entisoles (suelo arenoso de las costas, casi sin desarrollo). En cuanto a su geología, la Península de Osa está constituida por basaltos del Campaniano-Eoceno, sedimentos del Plioceno-Pleistoceno marino y sedimentos aluviales del Cuaternario. Su geomorfología distingue formas de sedimentación aluvial en la llanura costera de la Península y formas de origen tectónico y erosivo en su serranía (Kapelle *et al.* 2002).

El Río Rincón es uno de los principales cursos fluviales de la región (González 1992), con una cuenca de 231.6 km² y una longitud total de los cauces de 104.3 km. La altitud máxima de la cuenca es de 745 m y la cobertura forestal es del 70-90% (Umaña 1998). Otras cuencas de la Península de Osa tienen porcentajes de bosque considerablemente menores, de entre 30 y 60% (Umaña 1998). Es importante destacar que en el período entre 1980 y 1995, Rosero-Bixby *et al.* (2002), detectaron que la deforestación y la fragmentación de bosques naturales en la península, se presentaron principalmente en la parte media y baja de la cuenca del río Rincón. Además las probabilidades predichas de deforestación para los bosques de esta

cuenca se encuentran entre 20 y 40% (riesgo intermedio), lo que la hace una de las más vulnerables de la región.

IDENTIFICACIÓN DEL USO DE LA TIERRA

Con ayuda del mapa de cobertura de la tierra (INBio, 2006), se observó la distribución de los distintos usos que se le da a la tierra, dentro de los límites de la cuenca del Río Rincón.

Las siguientes son las categorías de uso de la tierra presentes en la cuenca y utilizadas en los análisis:

1. Bosque, ya sea primario o secundario: ecosistema o tipo de vegetación dominado por árboles.
2. Plantaciones forestales: área cubierta de árboles sembrados para la producción forestal, generalmente en monocultivo.
3. Charrales y tacotales: área regenerada con vegetación arbustiva densa en etapas tempranas del bosque secundario, en tierras donde la vegetación arbórea había sido eliminada en gran parte; incluye, también, zonas en proceso de degradación de la masa forestal, partiendo de los bosques densos a bosques sujetos a extracción de las mejores especies y eliminación de ejemplares de porte arbórea, quedando sólo la vegetación más baja o sotobosque.
4. Pastizales y cultivos (arroz, maíz): Los pastizales se refieren a la vegetación que sostiene el crecimiento de pastos y plantas pequeñas y donde están ausentes grandes agrupaciones de árboles o arbustos; generalmente, utilizado para sostener ganado mediante el pastoreo; mientras que los cultivos son toda clase de especie vegetal cultivada en un campo, generalmente con fines económicos.
5. Manglares: Bosque tropical anegado por aguas salobres y cerca de la costa, sujeto a la acción periódica de las mareas y dominado por una o más especies arborescentes de mangle.
6. Urbano: se refiere a ciudades, pueblos u otras zonas pobladas.

Para efectos de comparación, también se estimó el área y el porcentaje de bosque presente en otras cuencas de la Península de Osa, que drenan hacia el Golfo Dulce.

CONCORDANCIA CAPACIDAD DE USO VS. USO DE LA TIERRA

Se utilizaron mapas de capacidad de uso de la tierra proporcionados por la Fundación Neotrópica y se compararon con los datos obtenidos en la identificación del uso actual de la tierra. Así, al traslapar la capa de “uso de la tierra” (INBio 2006) sobre la de “capacidad de uso”, se observó los sitios donde existe una sub-utilización del suelo (cuando el uso que se le está dando a la tierra es menor a su potencial), una sobre-utilización (cuando el uso que se le está dando a la tierra excede su potencial) o bien están siendo explotados de acuerdo con su capacidad (Cuadro 1).

Cuadro 1. Matriz de “uso” vs. “capacidad de uso” con la respectiva clasificación de sobreutilización, subutilización y uso adecuado.

Categoría de Uso	Capacidad de uso			
	Uso agropecuario (A)	Plantaciones forestales o cultivos permanentes (VI)	Manejo de bosque o recuperación natural (VII)	Protección (VIII)
Pastos y cultivos	1	1	3	3
Bosque	2	1	1	1
Charrales y Tacotales	2	2	1	3
Agua	1	1	1	1
Manglar	1	1	1	1
No Datos	1	1	1	1
Terreno descubierto	1	1	1	1
Urbano	3	3	3	3
Plantaciones forestales	2	1	1	3

1: Uso adecuado; 2: Subutilización; 3: Sobreutilización.

Para realizar los dos puntos anteriores (la determinación del uso y la concordancia con la capacidad de uso) se utilizaron las siguientes herramientas de Sistemas de Información Geográfica (SIG) para Arc View 3 que ayudaron en la visualización y el análisis de los datos: “Geoprocessing” (utilizada para cortar las capas en las diferentes subcuencas a analizar), “X Tools” (para recalcular las áreas para cada subcuenca y para sus diferentes usos y

capacidades de uso) y “Spatial Analysis” (para sobreponer los mapas de capacidad y uso, obteniendo el mapa de conflicto).

DETERMINACIÓN DE LA CARGA DE SÓLIDOS EN SUSPENSIÓN

Para realizar la determinación de la carga de sólidos suspendidos, se escogieron puntos de muestreo potenciales en el río, con base en la información sobre uso de la tierra (Kapelle 2002). La escogencia se hizo procurando tener puntos en todas las categorías de uso de la tierra y en zonas altas, medias y bajas de la cuenca, en las entradas de afluentes y también en la desembocadura del Río Rincón. Se anotaron las coordenadas de estos puntos potenciales y posteriormente se realizó una visita al campo para intentar llegar a estos sitios y realizar el reconocimiento del área. Una vez en el campo se terminaron de definir los puntos de muestreo con base en su accesibilidad.

En los sitios escogidos, se realizaron mediciones una vez al mes, por un período de seis meses (durante la estación lluviosa). En la estación seca se realizó un solo muestreo más, en el mes de marzo, tomando los siguientes datos:

- **Caudal:**

Se midió el ancho total del cauce en el punto de muestreo. Posteriormente se realizaron tres mediciones en la sección transversal del río (dividiendo el ancho del cauce entre cuatro (ancho/4) y se tomaron los datos separados por esa distancia; por ejemplo Ancho= 8 m, (8/4 = 2). Entonces la toma de datos se haría a los 2, 4 y 6 m a partir del punto de origen, midiendo profundidad (en cm) y velocidad de la corriente (en m/s) con un flujómetro digital marca Global Water, modelo FP101. Estos datos se colocaron en la fórmula: $Q = A \times V$, donde Q representa el caudal, A es el área de la sección del curso (profundidad media por ancho) y V es la velocidad promedio de la corriente. Así, se obtuvieron los caudales (en l/s ó m^3/s) para cada punto, en cada muestreo.

- **Concentración de sólidos en suspensión, mediante el método de filtración:**

Se tomaron tres muestras de agua en cada sitio de muestreo escogido (exactamente en los mismos donde se tomó la profundidad y velocidad de la corriente) procurando abarcar toda la columna de agua. Para esto se sumergió una botella de polietileno de boca ancha (aprox. 1000 ml), lo más hondo posible y luego va subiendo al tiempo que se toma la muestra.

Para el análisis de laboratorio se utilizaron filtros prepesados de fibra de vidrio Millipore

GF/C Whatman de 47 mm y poro de 1.2 μm , una bomba de vacío, un embudo, probeta de 500 ml, equipo de filtración manual Nalgene, balanza analítica, desecador, pinzas y un horno secador.

1. Se filtró la muestra de agua y se secó a una temperatura de 60°C por un periodo de 24 horas, se colocó en el desecador por 30 minutos y se pesó. Se repitió el procedimiento hasta alcanzar un peso constante.
2. La diferencia de peso del filtro más la muestra, menos los pesos iniciales del filtro vacío nos indica la cantidad de sedimento total en suspensión en el momento del muestreo. La concentración de sedimento se determina como se indica a continuación:

$$\text{Masa de la muestra} / \text{volumen de la muestra} = \text{mg/l.}$$

Las muestras a la salida del manglar se tomaron durante la marea baja para evitar cuantificar los sedimentos que ingresan desde el mar con la marea alta.

Una vez que se tienen los datos de caudal y concentración, la carga se calcula mediante la fórmula $\text{Carga} = \text{concentración} \times \text{caudal}$.

RELACIÓN DE LA CARGA DE SÓLIDOS SUSPENDIDOS CON EL USO DE LA TIERRA

Para relacionar la carga de sólidos suspendidos con las categorías de uso de la tierra, se requería distinguir las subcuencas de influencia para cada punto de muestreo. Para esto se utilizó la capa de subcuencas de Costa Rica (Fallas, 2008), la cual presentaba una subdivisión de la cuenca del Río Rincón en varias subcuencas más pequeñas.

Para la mayoría de los puntos, hubo concordancia entre las subcuencas de la capa de Fallas (2008) y el área de influencia para el punto. Sin embargo, en algunos casos, como los puntos dentro de la Quebrada Banegas o los puntos en las partes altas como Riyito 1 o Rincón 1, se requirió una subdivisión adicional.

En estos casos, se utilizó la capa de curvas de nivel (ITCR, 2008) para generar un modelo de elevación digital de la cuenca. Con base en este modelo, las subcuencas de la capa de Fallas (2008) se subdividieron aún más utilizando la extensión "Hydrologic Modeling" para ArcView 3.3. Las nuevas subcuencas generadas, se usaron como criterio para definir las

subcuencas de influencia para los puntos.

La carga de sólidos suspendidos en cada punto estará determinada por las características (variables independientes) presentes en cada subcuenca. El punto desembocadura tiene asignada toda la cuenca como área de influencia, por lo tanto, este punto no se utilizó para los análisis estadísticos de regresión y correlación entre concentración y carga de sólidos suspendidos, y los usos de la tierra.

Los puntos de muestreo, las subcuencas asociadas y las áreas de cada una de ellas, se pueden observar en el Cuadro 2 y en la Figura 2.

Cuadro 2. Subcuencas asociadas a los puntos de muestreos y áreas de cada una de ellas. Cuenca del Río Rincón, Península de Osa.

Punto de muestreo	Coordenadas (Lambert Sur) Lat / Long	Ubicación en la cuenca	Subcuenca(s) asociada(s)	Área de la(s) subcuenca(s) asociadas (s) (ha)
Banegas 1	293367 / 513167	Cuenca alta	Q. Banegas 1	812.46
Banegas 2	292188 / 514903	Cuenca media	Q. Banegas 2	310.23
Banegas 3	290950 / 517121	Cuenca media	Q. Banegas 3	1171.19
Riyito 1	292566 / 511593	Cuenca alta	R. Riyito 1	2591.89
Riyito 2	292725 / 519804	Cuenca baja	R. Riyito, Q. Banegas, Q. Aguabuena	6763.14
Pavón 1	283991 / 518460	Cuenca media	R. Pavón, Q. Vaquedano	4351.57
Rincón 1	281973 / 517259	Cuenca alta	R. Rincón 1	2662.22
Rincón 2	283946 / 518544	Cuenca media	R. Rincón 2	921.37
Rincón 3	292313 / 520017	Cuenca baja	R. Rincón 3	3475.52
Puente	293420 / 520772	Cuenca baja	R. Rincón	473.58
Desembocadura	294165 / 521650	Cuenca baja	R. Rincón	21461.08

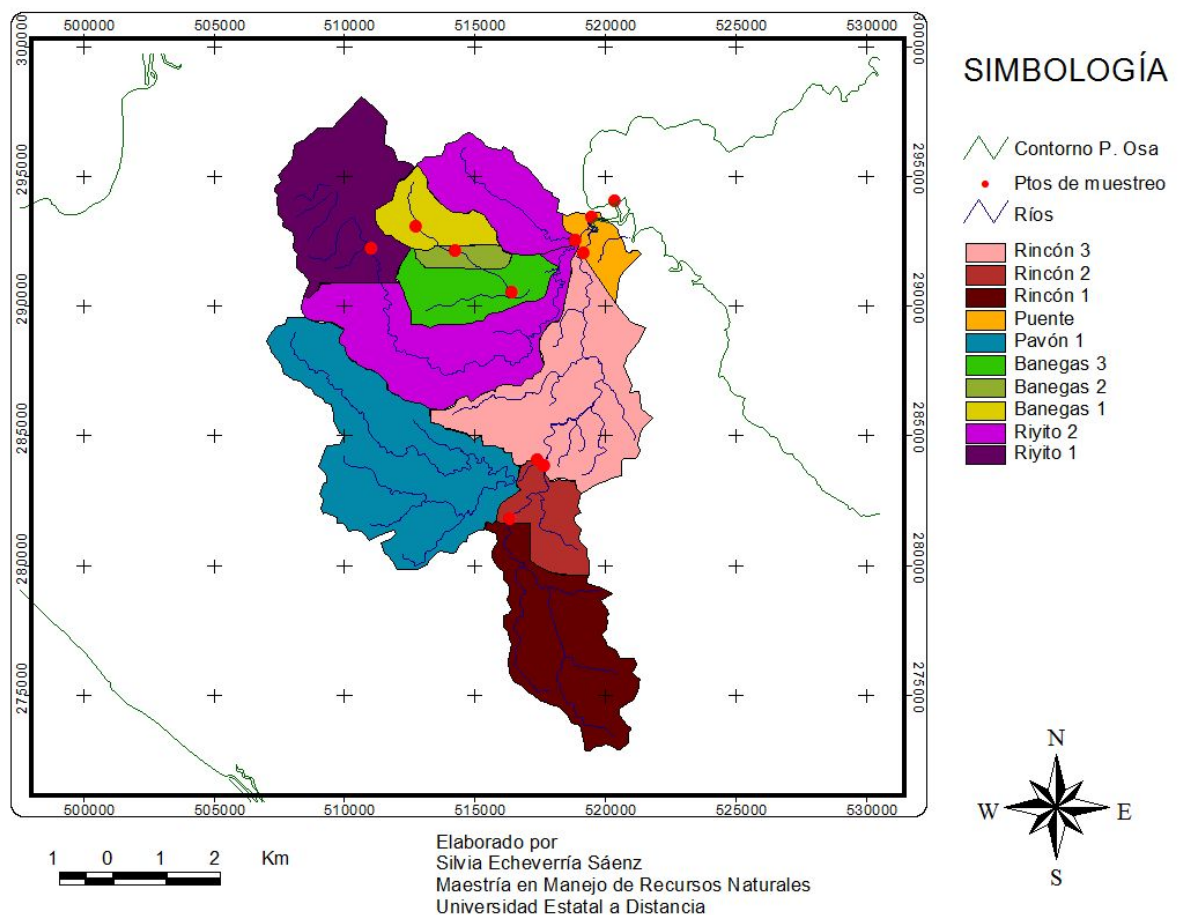


Figura 2. Mapa de ubicación de los puntos de muestreo junto con sus subcuencas asociadas. Cuenca del Río Rincón, Península de Osa.

Análisis estadístico

Se procedió a realizar análisis de varianza y análisis de regresión simples y múltiples, utilizando el programa StatGraphics, como sigue:

Se realizaron regresiones múltiples para observar el efecto de la cobertura relativa (%) de cada categoría de uso de la tierra, sobre la concentración y la carga promedio de sólidos suspendidos (SS). También se realizaron correlaciones múltiples (correlaciones momento de Pearson) entre la cobertura relativa (%) de cada categoría en cada subcuenca y la concentración promedio de SS.

Posteriormente, para comparar la concentración de sólidos en suspensión entre cuenca alta, media y baja, y para comparar entre todos los puntos de muestreo en la cuenca, se utilizaron análisis de varianza. Este mismo análisis se utilizó para comparar el caudal y la precipitación entre los meses del año. Esta última es un promedio de tres estaciones del Instituto Meteorológico Nacional, cercanas al área de muestreo: Estación Los Patos, Estación Rincón y Estación 3 Golfito.

Cabe destacar que en todos los casos se observó el cumplimiento de los supuestos para las pruebas paramétricas (homogeneidad de varianzas, independencia y normalidad). Para todos los análisis de varianza realizados, fue necesario transformar los datos con la operación logarítmica, ya que no cumplían el criterio de normalidad y/o el de homogeneidad de varianza. Para comparar la concentración de sólidos en suspensión entre meses del año, fue necesario realizar una prueba no paramétrica de Kruskal Wallis, ya que al transformar los datos aún no se cumplió el criterio de normalidad ni el de homogeneidad de varianza.

ESTIMACIÓN DE LA CARGA TOTAL DE SEDIMENTO

Por último, para estimar la carga total de sólidos en suspensión que este río aporta al Golfo Dulce, se tomaron los datos de concentración (en kg/m^3) y también los de caudal que lleva el río (m^3/s) en cada punto. Estos datos se multiplican entre sí, para obtener la carga (kg/s) que el río transporta en cada punto, multiplicando por el número de días de cada mes, se tiene un estimado en kg/mes . La suma de los kg de sedimento para cada mes da el total de sedimentos transportados en cada punto de muestreo, que finalmente se reportan en toneladas.

Sin embargo, se sabe que parte de estos sólidos se depositará en el lecho del río antes de llegar al Golfo Dulce, por lo que para estimar la carga que efectivamente llega hasta el Golfo Dulce, se utilizarán los datos del punto de muestreo “Puente” que se encuentra muy cerca de la desembocadura al Golfo y también se observarán los datos estimados en la desembocadura, justo después del área de manglar.

RESULTADOS

USO DE LA TIERRA

La cuenca del Río Rincón es la de mayor área y la de mayor porcentaje de bosque en la Península de Osa (21418.6 ha; 74.1% de bosque). A esta cuenca le sigue la del Río Tigre con 12491.5 ha y 69% de bosque. Las demás cuencas son de tamaño considerablemente menor (<5000 ha) y tienen porcentajes de bosque también menores (Cuadro 3).

Cuadro 3. Superficie expresada como número de hectáreas (ha) y porcentaje (%) de bosque presente en cuencas de la Península de Osa.

Cuenca	Superficie (ha)	Bosque (%)
Q. Caballero y Q. Escondido	2110	13
Q. Terrones, Q. Sándalo, Q. Juncal y Q. Lajitas	1541.3	16.4
R. Platanares y R. Corozal	4991	33.1
R. Sábalo	1132.5	34.2
R. Barrigones	2523.8	47.4
R. Conte	2536.6	48.5
R. Agujas	2641.8	69.4
R. Tigre	12491.5	69
R. Rincón	21418.6	74.1

La cuenca del Río Rincón mantiene diferentes usos de la tierra. El uso predominante es el de “Bosque” con 74.1% de la cuenca, le sigue la categoría de “Pastos y cultivos” con 17.6% y “Charrales y Tacotales” con 6% de la superficie total de la cuenca (Cuadro 2, ver “Desembocadura”). En las subcuencas analizadas, esta predominancia del uso “bosque” se mantiene, alcanzando más del 45% del área de todas las subcuencas, a excepción del área de influencia del Punto de muestreo “puente” donde el bosque sólo alcanza el 17%. El Cuadro 4

contiene los porcentajes presentes de cada categoría de uso de la tierra en cada subcuenca analizada, así como en la cuenca total (Desembocadura).

La subcuenca con el mayor porcentaje de bosques es la que corresponde a la zona alta del Río Rincón (97.58%) y las subcuencas de la Quebrada Vaquedano y del Río Pavón (97.42%). El menor porcentaje de bosque se observa en las partes bajas de las subcuencas del Río Rincón (Rincón 3: 47.2% de bosque) y de la quebrada Banegas (Banegas 3: 55.9% de bosque). Otra subcuenca con un porcentaje de bosque bajo es la del punto "Riyito 1" (59.8%), que es donde se encuentra el poblado de Rancho Quemado y el mayor porcentaje de plantaciones forestales (12.07%).

Con respecto a los demás usos de la tierra, los charrales y tacotales se presentaron en porcentajes bajos en toda el área de estudio (<10% en la mayoría de las subcuencas), pero los porcentajes más altos (16.3, 15.3, 9.7 y 9.2%) se presentaron en la subcuenca del Río Rincón 2, Rincón 3, Banegas 2 y Riyito 1, respectivamente. Los pastos y cultivos se registran en mayor proporción en el área de influencia del Punto de muestreo "puente", donde alcanzan un 74.8% de la cobertura, la cuenca baja de la Quebrada Banegas (Banegas 3: 40%) y la cuenca baja del Río Rincón (Rincón 3: 36.3%).

Cuadro 4. Distribución de categorías de uso de la tierra por subcuenca: expresado como número de hectáreas (ha) y porcentaje (%) relativo al área de la(s) subcuenca(s) asociada(s). Cuenca del Río Rincón, Península de Osa.

Subcuenca(s) asociada(s)	Punto de muestreo	Bosque		Plantación forestal		Charral / Tacotal		Pastos y cultivos		Manglares		Urbano		Otros	
		ha	%	ha	%	ha	%	ha	%	ha	%	ha	%	ha	%
Q. Banegas 1	Banegas 1	746.4	91.9	1.7	0.2	59.7	7.4	4.7	0.6	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
Q. Banegas 2	Banegas 2	224.9	72.5	0.2	0.1	30.1	9.7	55.0	17.7	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
Q. Banegas 3	Banegas 3	655.2	55.9	21.9	1.9	26.1	2.2	468.0	40.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
R. Riyito 1	Riyito 1	1548.8	59.8	312.8	12.1	239.5	9.2	476.0	18.4	0.0	0.0	2.6	0.1	12.1	0.5
R. Riyito, Q. Banegas, Q. Aguabuena	Riyito 2	5003.9	74.0	30.8	0.5	276.5	4.1	1452.0	21.5	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
R. Pavón, Q. Vaquedano	Pavón 1	4239.3	97.4	0.0	0.0	12.4	0.3	99.9	2.3	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
R. Rincón 1	Rincón 1	2597.8	97.6	0.0	0.0	55.0	2.1	7.5	0.3	0.0	0.0	1.8	0.1	0.0	0.0
R. Rincón 2	Rincón 2	690.3	74.9	0.0	0.0	150.0	16.3	81.1	8.8	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
R. Rincón 3	Rincón 3	1640.5	47.2	15.3	0.4	532.4	15.3	1261.9	36.3	0.0	0.0	2.4	0.1	23.0	0.7
R. Rincón	Puente	81.2	17.1	4.5	1.0	18.5	3.9	354.0	74.8	0.0	0.0	0.0	0.0	0.9	0.2
R. Rincón	Desembocadura	15871.2	74.1	363.1	1.7	1285.3	6.0	3765.5	17.6	86.4	0.4	7.2	0.0	37.3	0.2

Nota: Los puntos Riyito 2 y Pavón 1 tienen más de una subcuenca asociada porque tienen influencia de otros afluentes además del río principal.

RELACIÓN DE LA CONCENTRACIÓN DE SÓLIDOS SUSPENDIDOS CON EL USO DE LA TIERRA

La Figura 4 presenta cada uno de los 11 puntos de muestreo, así como su ubicación dentro de la cuenca del Río Rincón y los usos de la tierra a su alrededor. Las características de estos puntos y las concentraciones de sólidos en suspensión promedio para cada uno, se observan en el Cuadro 5. El mayor promedio (138.5 g/m^3) se observa en el punto Rincón 3, debido a que en este punto, durante el mes de octubre se registró un valor de 1000 g/m^3 , que fue además el máximo valor reportado para todo el período de muestreo, asimismo, en el mes de Octubre se registraron valores de sólidos suspendidos muy superiores a los de los demás meses. Por esta razón, se presenta también una columna del promedio para cada punto sin tomar en cuenta las concentraciones de Octubre.

Cuadro 5. Promedio y desviación estándar de la profundidad, ancho del cauce y concentración de sólidos en suspensión (SS) en los puntos de muestreo. Cuenca del Río Rincón, Península de Osa, 2005.

Punto de muestreo	Profundidad (cm; $x \pm \text{DE}$)	Ancho del cauce (m; $x \pm \text{DE}$)	Concentración SS (g/m^3 ; $x \pm \text{DE}$)	Concentración SS (g/m^3 ; $x \pm \text{DE}$) sin Octubre
Banegas 1	16.8 ± 4.6	4.46 ± 0.70	2.9 ± 1.3	$2.9 \pm 1.3^*$
Banegas 2	15.6 ± 9.0	9.33 ± 1.92	6.1 ± 6.0	5.0 ± 6.0
Banegas 3	32.9 ± 18.5	6.98 ± 0.67	14.1 ± 32.9	4.6 ± 2.7
Riyito 1	34.0 ± 14.0	10.04 ± 1.64	5.2 ± 3.5	5.4 ± 3.7
Riyito 2	96.2 ± 48.3	24.59 ± 3.77	25.8 ± 32.0	16.6 ± 20.3
Pavón 1	37.5 ± 21.6	22.05 ± 5.77	3.4 ± 3.4	$3.4 \pm 3.4^*$
Rincón 1	29.5 ± 11.8	17.02 ± 4.37	$12.4 \pm 23.0^{**}$	$12.4 \pm 23.0^*$
Rincón 2	56.9 ± 23.7	11.25 ± 3.66	59.1 ± 148.7	6.5 ± 6.0
Rincón 3	55.1 ± 38.7	27.49 ± 7.43	138.5 ± 348.4	15.4 ± 15.0
Puente	62.2 ± 27.6	37.47 ± 10.38	49.9 ± 93.9	14.8 ± 14.1
Desembocadura	43.0 ± 23.7	63.0 ± 8.94	51.7 ± 72.7	22.5 ± 13.6

* Los valores son iguales en las dos columnas porque no fue posible llegar al punto de muestreo en el mes de Octubre

** Ver la siguiente fotografía (Fig. 3).



Figura 3. Fotografía del Río Rincón (punto de muestreo Rincón 1). Setiembre, 2009.

En este punto hubo un dato elevado (59 mg/l) en la gira de setiembre, que sube el promedio observado en el Cuadro 5, pero como se ve en la esta fotografía (Fig. 3), el sedimento era distinto, de color blanquecino, más como si se estuviera efectuando alguna alteración en el propio cauce del río y no que fueran sedimentos de origen terrestre.

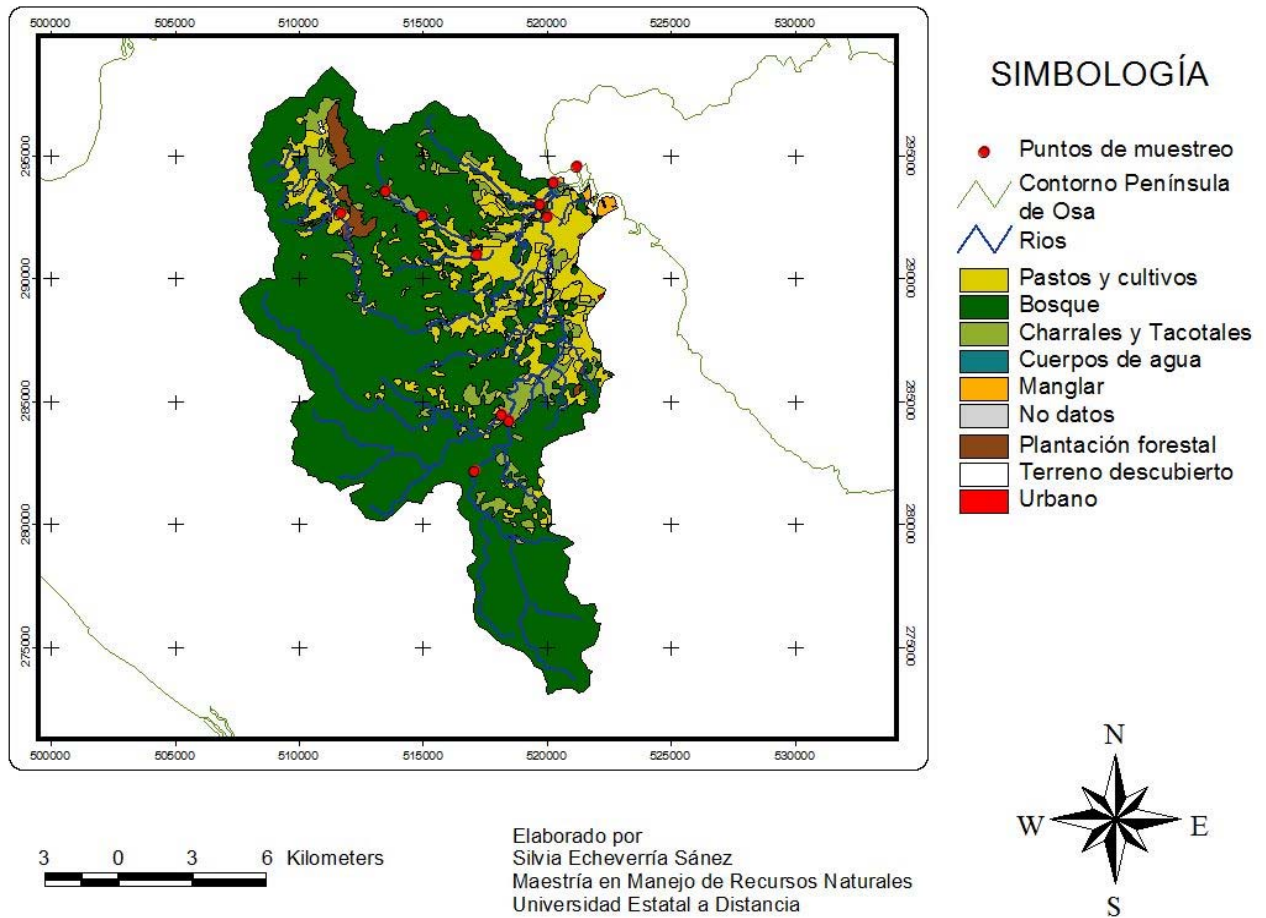


Figura 4. Mapa de ubicación de los 11 puntos de muestreo en la cuenca del Río Rincón, Península de Osa, con respecto al uso de la tierra.

La regresión múltiple indica que las variables “%bosque”, “%Plantaciones forestales” (PF%), “%charrales y tacotales” (ch y tac%) y “%pastos y cultivos” (p y c%) están significativamente relacionadas con la carga promedio de SS ($r^2 = 93.0\%$; Razón-F = 16.56; $p = 0.0043$).

La ecuación del modelo ajustado es:

$$\text{Carga (g/s)} = 19288.6 - 193.215 \cdot \text{bosque\%} - 214.658 \cdot \text{PF\%} - 177.349 \cdot \text{ch y tac\%} - 190.714 \cdot \text{p y c\%}$$

Se observa que el modelo ajustado explica el 93% de la variación en la carga promedio de SS. Sin embargo, es confuso que todos los signos del modelo sean negativos, por lo que

éste se simplificó excluyendo el bosque. Al realizar esta prueba los signos cambian:

(Carga (g/s) = $-93.4861 - 19.1066 \cdot \text{PF}\% + 14.4461 \cdot \text{ch y tac}\% + 9.5766 \cdot \text{p y c}\%$), pero el modelo explica un solamente un 78% de la variabilidad, aunque sigue siendo significativo ($r^2 = 77.7\%$; Razón-F = 6.98; $p = 0.02$).

Es probable que el hecho de que el bosque es un uso muy predominante (>50% en la mayoría de las subcuencas) produzca el cambio en todos los otros signos de la ecuación, ya que su peso se vuelve muy alto en el modelo.

Al realizar las correlaciones múltiples, la variable “%pastos y cultivos” se correlacionó significativamente con la concentración promedio de SS ($r = 0.6624$; $p = 0.0452$); el coeficiente de correlación (r) indica una relación positiva moderada. El “%bosque” presentó una correlación negativa no significativa con la concentración promedio de SS ($r = -0.4990$; $p = 0.1420$).

Al repetir este ejercicio comparando la cobertura relativa (%) de cada categoría en cada subcuenca, con la carga promedio de SS, se obtienen resultados similares a los anteriores, con correlaciones positivas significativas para “%pastos y cultivos” ($r = 0.7967$; $p = 0.0058$) y negativas significativas para “%bosque” ($r = -0.7983$; $p = 0.0056$).

Asimismo, el “%bosque” presentó una correlación negativa fuerte con el “%pastos y cultivos” ($r = -0.9603$; $p = 0.0000$) y el “%Plantaciones forestales” se correlacionó positivamente con el “%urbano” ($r = 0.6470$; $p = 0.0432$).

Los puntos ubicados en la cuenca alta como conjunto (Rincón 1, Riyito 1 y Banegas 1) presentaron menores concentraciones de sólidos suspendidos, que los de las zonas más bajas (Riyito 2, Rincón 3, Puente y Desembocadura), aunque no presentaron diferencias con los puntos ubicados en cuenca media (Banegas 2, Banegas 3, Rincón 2 y Pavón 1; Fig. 5; $F = 12.62$; g.l. = 81; $p = 0.000$).

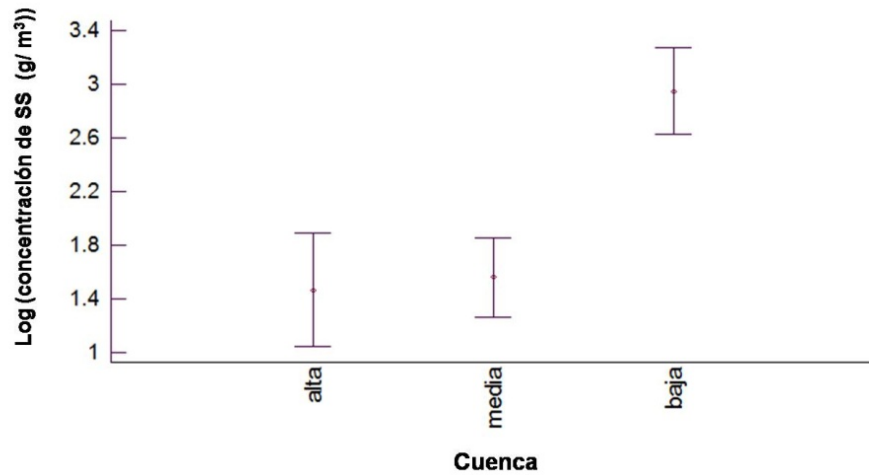


Figura 5. Log-Concentración de sólidos en suspensión (SS) (intervalos LSD de Fischer) en la zona alta, media y baja de la cuenca del Río Rincón, Península de Osa, Junio-Diciembre, 2005 y Marzo, 2006.

Individualmente, se observaron diferencias significativas ($F = 2.99$; g.l. =81; $p = 0.0034$) entre las concentraciones de sólidos en suspensión de los siguientes pares de puntos de muestreo (Fig. 6; Cuadro 6). La diferencia encontrada entre los puntos confirma el análisis anterior pues, en su mayoría, se trata de puntos ubicados en las partes altas y medias contra puntos ubicados en las partes bajas de la cuenca.

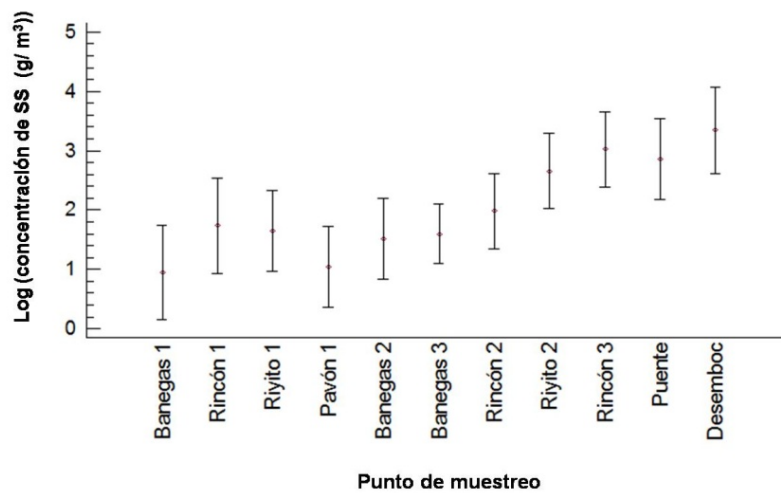


Figura 6. Log-Concentración de sólidos en suspensión (SS) (intervalos LSD de Fischer) para cada punto de muestreo en la cuenca del Río Rincón, Península de Osa, Junio-Diciembre, 2005 y Marzo, 2006.

Cuadro 6. Pares de puntos de muestreo (Contraste) que presentan diferencias significativas en sus concentraciones de sólidos en suspensión. Cuenca del Río Rincón, Península de Osa, 2005. El método empleado para discriminar entre las medias es el procedimiento de diferencia mínima significativa (LSD) de Fisher.

Contraste	Sig.	Diferencia	+/- Límites
Banegas 3 - Desembocadura	*	-1.74725	1.25139
Banegas 3 - Puente	*	-1.25786	1.18866
Banegas 3 - Rincón 3	*	-1.4221	1.13935
Banegas 1 - Desembocadura	*	-2.39403	1.53532
Banegas 1 - Puente	*	-1.90464	1.48464
Banegas 1 - Rincón 3	*	-2.06888	1.44546
Banegas 1 - Riyito 2	*	-1.70387	1.44546
Banegas 2 - Desembocadura	*	-1.82237	1.41062
Banegas 2 - Rincón 3	*	-1.49722	1.31225
Desembocadura - Pavón 1	*	2.30084	1.41062
Desembocadura - Rincón 1	*	1.60742	1.53532
Desembocadura - Riyito 1	*	1.69865	1.41062
Pavón 1 - Puente	*	-1.81146	1.35528
Pavón 1 - Rincón 3	*	-1.9757	1.31225
Pavón 1 - Riyito 2	*	-1.61068	1.31225
Rincón 3 - Riyito 1	*	1.3735	1.31225

La comparación de las concentraciones de sólidos suspendidos entre los meses de muestreo con la prueba de Kruskal – Wallis, indicó que sí hay una diferencia significativa entre los meses del año ($KW = 26.11$; $p = 0.0005$), siendo octubre el mes en el que se registró la mayor concentración de sólidos suspendidos, muy por encima de todos los demás meses (Fig. 7). En la figura 8 puede notarse la magnitud de la diferencia entre este mes y el mes de marzo de 2006.

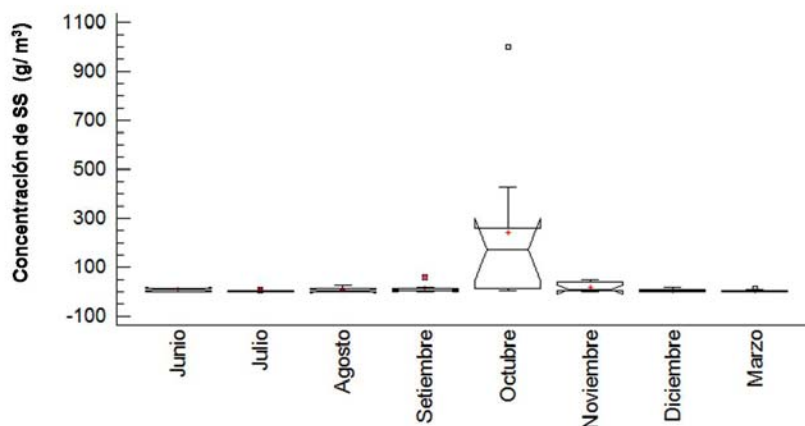


Figura 7. Concentración de sólidos en suspensión durante los meses de muestreo (Junio-Diciembre, 2005 y Marzo, 2006), en la cuenca del Río Rincón, Península de Osa.



Figura 8. Fotografías tomadas en el Río Rincón durante los meses de Octubre 2005 y Marzo 2006, Península de Osa.

Las diferencias encontradas en la concentración de sólidos, podrían indicar a su vez, cambios en las precipitaciones, por lo que se realizó otro ANOVA, esta vez determinando las diferencias en los promedios de precipitación mensuales. La diferencia mínima significativa (LSD) de Fischer indica diferencias en los promedios de precipitación mensuales, siendo diciembre y marzo los que presentan medias más bajas, mientras que setiembre, octubre y noviembre son los meses de mayor precipitación ($F = 5.86$; g.l. = 223; $p = 0.000$; Figura 9).

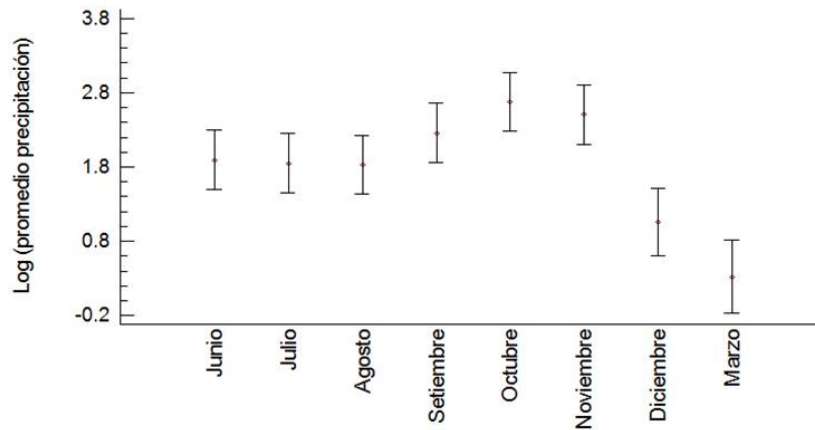
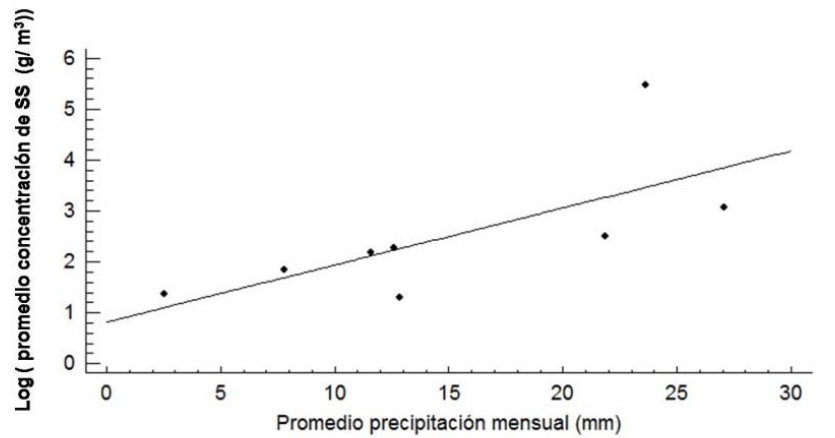


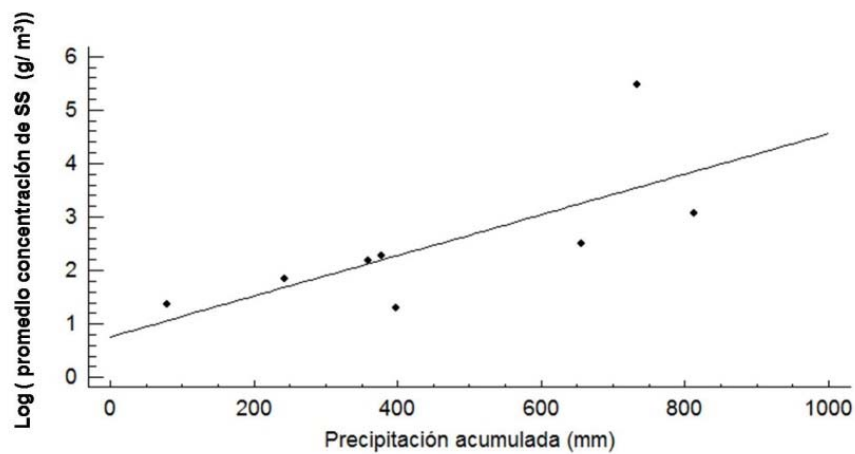
Figura 9. Log- precipitación promedio mensual (intervalos LSD de Fischer) durante los meses de muestreo (Junio-Diciembre, 2005 y Marzo, 2006), en la cuenca del Río Rincón, Península de Osa. Fuente de los datos de precipitación: Instituto Meteorológico Nacional.

Se realizó además una regresión lineal para determinar la relación existente entre el promedio de precipitación y la concentración de sólidos suspendidos. Esta relación fue significativa, sin embargo, el estadístico R-Cuadrada indica que el modelo ajustado explica solamente el 50% de la variabilidad ($F = 6.01$; g.l. = 7; $p < 0.05$; $r^2 = 50.05\%$). Lo mismo sucede si en lugar de usar el promedio de precipitación mensual se usa el acumulado de precipitación para el mes ($F = 6.57$; g.l. = 7; $p < 0.05$; $r^2 = 52.26\%$; Fig. 10).

El hecho de que el modelo explique solamente el 50% de la variabilidad en la concentración de SS, se debe probablemente a que la concentración en el mes de octubre es considerablemente superior a la de todos los demás meses, aún cuando la precipitación no fue significativamente superior a las de otros meses, por ejemplo setiembre y noviembre (Fig. 11). También podrían existir otros factores no medidos en este estudio que pudieran tener relación.



$$\text{Log (concentración de SS (g/ m}^3\text{))} = 0.821393 + 0.111923 * \text{promedio precipitación (mm)}$$



$$\text{Log (concentración de SS (g/ m}^3\text{))} = 0.763677 + 0.00379749 * \text{precipitación acumulada (mm)}$$

Figura 10. Modelo ajustado entre: A. Log- concentración de sólidos en suspensión promedio y la precipitación acumulada, y B. Log- concentración de sólidos en suspensión promedio y la precipitación promedio mensual, durante los meses de muestreo (Junio-Diciembre, 2005 y Marzo, 2006), en la cuenca del Río Rincón, Península de Osa. Fuente de los datos de precipitación: Instituto Meteorológico Nacional.

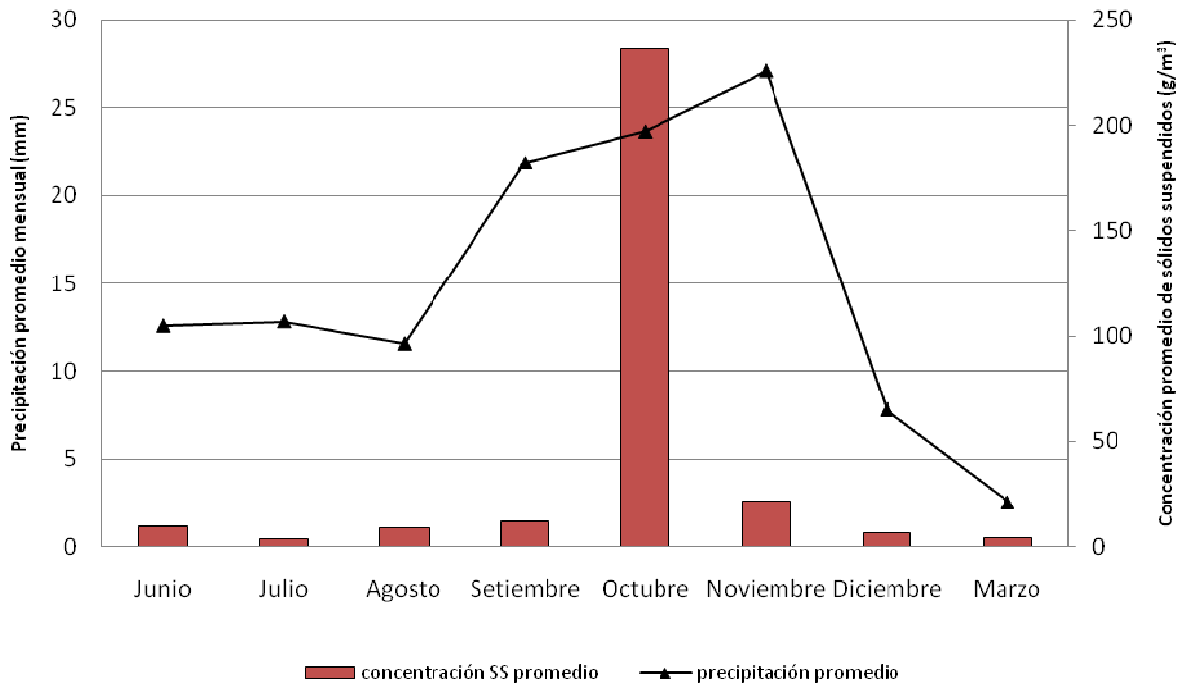


Figura 11. Curva de precipitación promedio mensual (mm) durante los meses de muestreo (Junio-Diciembre, 2005 y Marzo, 2006) y concentración promedio de sólidos en suspensión (g/m^3), en la cuenca del Río Rincón, Península de Osa. Fuente de los datos de precipitación: Instituto Meteorológico Nacional.

Los caudales registrados tampoco fueron significativamente diferentes en este mes, con respecto a los demás de la época lluviosa. El resultado de la prueba de múltiples rangos reporta diferencias significativas al comparar los caudales de todos los meses solamente con el mes de marzo, que tuvo el menor caudal de todos ($F = 2.34$; g.l. = 81; $p < 0.05$; Fig. 12). No hubo diferencias significativas entre los meses de la época lluviosa.

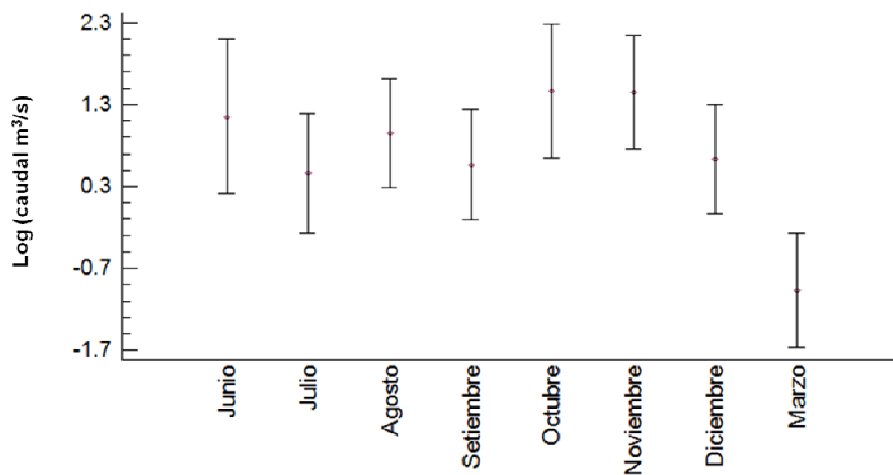


Figura 12. Log Caudal (m^3/s) calculado durante los meses de muestreo (Junio-Diciembre, 2005 y Marzo, 2006), en la cuenca del Río Rincón, Península de Osa.

Un gráfico de caudal por concentración (Fig. 13) tampoco muestra una relación lineal entre estas variables.

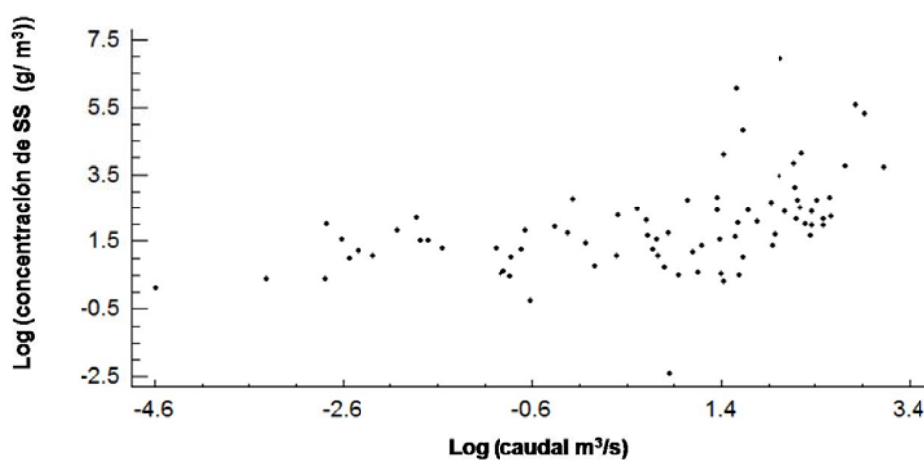


Figura 13. Gráfico log-log de caudal por concentración durante los meses de muestreo (Junio-Diciembre, 2005 y Marzo, 2006), en la cuenca del Río Rincón, Península de Osa.

CONCORDANCIA CAPACIDAD DE USO VS. USO DE LA TIERRA

En esta cuenca se observa una concordancia de 86.61% entre la capacidad de uso de la tierra con el uso real que se le está dando. El porcentaje remanente contiene conflictos de uso de la tierra para esta región, por ejemplo la sobreutilización de zonas con capacidad estrictamente forestal, por aprovecharlas en actividades distintas, como la agricultura, el pastoreo o el uso urbano. El porcentaje más alto de sobreutilización de la tierra se observa en la zona alta del Río Riyito (Riyito 1: 11.5%). Las subcuencas con mayores porcentajes de concordancia, es decir, que se están utilizando de acuerdo con su capacidad de uso, son la del Río Pavón y Quebrada Vaquedano (Pavón 1: 99.1%), la del Río Rincón en la zona alta (Rincón 1: 97.43%), y la parte alta de la quebrada Banegas (Banegas 1: 92.27%) (Cuadro 7).

La subutilización se da cuando el uso que se le está dando a la tierra es menor a su potencial. Sin embargo, como esta circunstancia no genera ningún impacto negativo sobre el suelo, ni sobre su potencial erosivo, etc., un terreno subutilizado se considera en uso adecuado para efectos de este estudio. La mayoría de los casos donde se observó subutilización en la cuenca del Río Rincón es cuando había “bosque” o “charrales y tacotales” en zonas de aptitud agrícola (Fig. 14).

Cuadro 7. Porcentajes de concordancia del uso real de la tierra con su capacidad de uso, en la cuenca del Río Rincón, Península de Osa.

Subcuenca(s) asociada(s)	Punto de muestreo	% de sobreutilización	% en uso concordante	% en subutilización
Q. Banegas 1	Banegas 1	2.41	92.27	5.32
Q. Banegas 2	Banegas 2	4.21	84.39	11.40
Q. Banegas 3	Banegas 3	3.10	84.56	12.34
R. Riyito 1	Riyito 1	11.50	61.45	27.05
R. Riyito, Q. Banegas, Q. Aguabuena	Riyito 2	2.45	88.52	9.03
R. Pavón, Q. Vaquedano	Pavón 1	0.79	99.14	0.07
R. Rincón 1	Rincón 1	0.37	97.43	2.20
R. Rincón 2	Rincón 2	5.45	87.35	7.21
R. Rincón 3	Rincón 3	1.06	76.97	21.97
R. Rincón	Puente	2.31	87.40	10.29
R. Rincón	Desembocadura	2.85	86.61	10.55

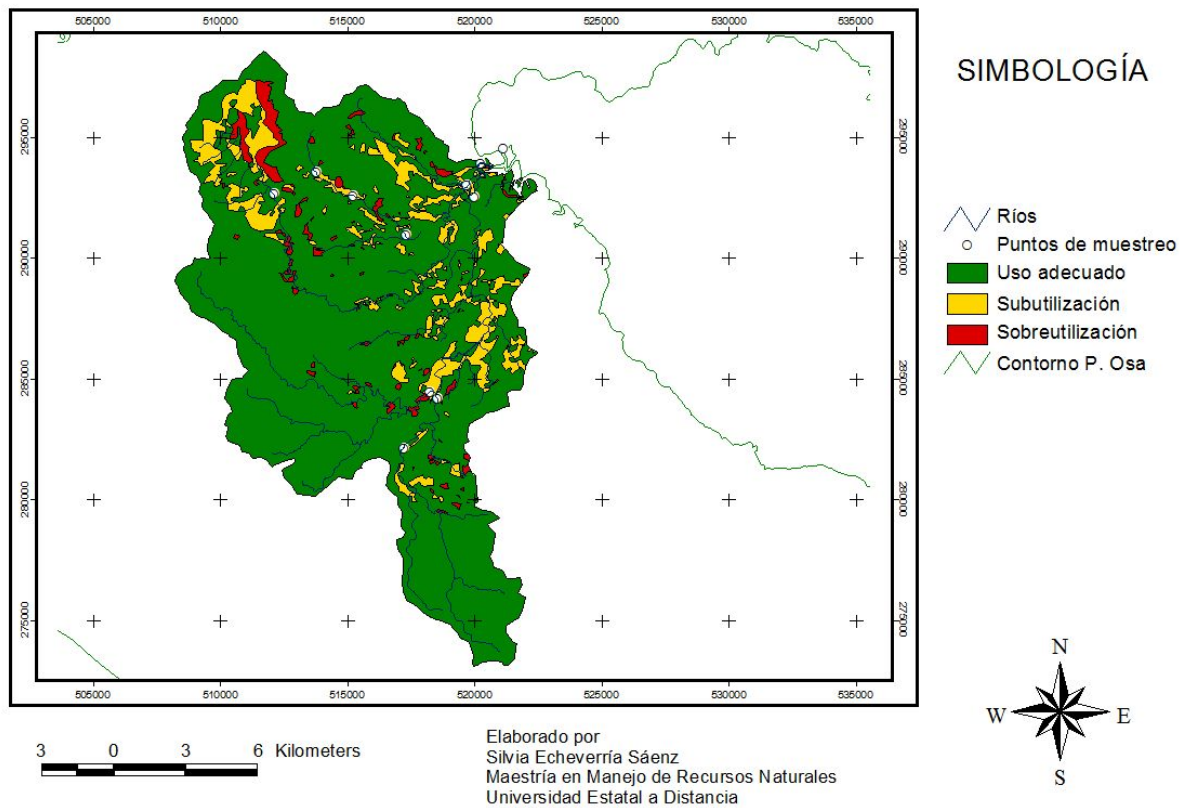


Figura 14. Mapa de conflicto de uso de la tierra en la cuenca del Río Rincón, Península de Osa.

Se realizaron correlaciones múltiples y análisis de regresión múltiple para ver si los porcentajes de sobreutilización, subutilización o uso adecuado tenían relación con la concentración y la carga promedio de sólidos en suspensión, sin embargo ninguna relación fue significativa y los modelos ajustados explicaban menos del 30% de la variación ($r^2 = 5.98$; $p > 0.05$ para concentración y $r^2 = 27.8$; $p > 0.05$ para la carga de SS).

ESTIMACIÓN DE LA CARGA TOTAL DE SEDIMENTO

La carga total de sólidos en suspensión que llegaron al Golfo Dulce durante la estación lluviosa (Julio a Diciembre) del año 2005 se estimó en 14 978 t (Cuadro 7). Este dato puede representarse también como 2.27 t/km²/d y representa la carga de sólidos en suspensión a la altura del puente sobre el Río Rincón, justo antes de entrar al área de manglar.

En la desembocadura del Río Rincón, justo después del área de manglar, se estimó una carga de 13 573 t, sin embargo, este punto no cuenta con datos para el mes de julio, por lo que es una subestimación. Por otro lado, se considera que el dato del puente es más confiable porque no contiene sólidos en suspensión de origen marino que puedan sesgar la información.

Cuadro 8. Cálculo de carga de sólidos en suspensión (t/mes) y toneladas totales durante los meses de lluvias, en los puntos de muestreo "Puente" y "Desembocadura".
Cuenca del Río Rincón, Península de Osa. 2005.

Mes	Sitio	Carga (ton/d)	Días del mes	Carga (ton/mes)
Julio	Puente	10.43862	31	323.5972
Agosto	Puente	18.67606	31	578.9579
Setiembre	Puente	6.358683	30	190.7605
Octubre	Puente	384.9276	31	11932.76
Noviembre	Puente	55.73669	30	1672.101
Diciembre	Puente	9.044549	31	280.381
TOTAL (6 meses)				14978.55
Agosto	Desembocadura	20.72771	31	642.5589
Setiembre	Desembocadura	3.781817	30	113.4545
Octubre	Desembocadura	321.2431	31	9958.535
Noviembre	Desembocadura	82.58762	30	2477.629
Diciembre	Desembocadura	12.27163	31	380.4205
TOTAL (5 meses)				13572.6

DISCUSIÓN

USO DE LA TIERRA

Como se observó en los resultados, la cuenca del Río Rincón es una de las que mantiene un mayor porcentaje de bosque, al tiempo que es una de las de mayor tamaño, al compararla con otras cuencas de la Península de Osa que drenan al Golfo Dulce. Esto indica que podría ser una de las cuencas con mayor influencia sobre el Golfo y esto le confiere gran importancia como zona de conservación.

Esta cuenca presenta una predominancia de bosques en las zonas más altas, con mayores pendientes y de menor accesibilidad (como las subcuencas del Río Rincón, el Río Pavón y la Quebrada Banegas), mientras que las zonas bajas están sujetas en altos porcentajes (>20% aproximadamente) a actividades de agricultura y en algunos casos conversión para usos urbanos.

De acuerdo con Rosero-Bixby *et al.* (2002), un 16% de los bosques de la Península de Osa sufrió deforestación entre los años 1980 y 1995, convirtiéndose los bosques a pastizales y zonas de cultivo, o a plantaciones forestales. Los datos del presente estudio en la cuenca del Río Rincón corroboran esta información con la correlación negativa existente entre el uso “%bosque” y el de “%pastos y cultivos”, siendo notorio que la conversión del bosque se dirigió principalmente a actividades agropecuarias.

Estos autores (Rosero Bixby *et al.* 2002), señalan el aumento en la población como una de las causas de este cambio de uso, también indican que la cercanía a caminos es otro factor que favorece la deforestación, habiéndose talado un 30.3% del bosque ubicado a menos de 1 km de los caminos. Una evidencia de este dato es que la única subcuenca de zonas altas que presenta un porcentaje de bosque bajo (<60%) es la del Río Riyito, que es, a su vez, la única con un camino de acceso hasta la parte alta.

La deforestación anotada por Rosero Bixby *et al.*, (2002), vino seguida de una reforestación con árboles de melina (*Gmelina arborea*), principalmente para plantaciones forestales, que aunque no representan un porcentaje alto de los usos de la tierra en la cuenca del Río Rincón, sí representan aproximadamente un 8% del territorio ocupado por agropaisajes.

De hecho, cabe destacar la relación positiva encontrada en el presente estudio, entre el porcentaje de cobertura urbana y el porcentaje de cobertura en plantaciones forestales.

La presencia de un 6% de charrales y tacotales en la cuenca también podría ser un indicativo de terrenos que fueron deforestados y están ahora en un proceso de regeneración natural. Esto no asegura que vayan a mantenerse en esa categoría de uso, por lo que debería prestárseles especial atención para procurar su transición a bosques secundarios.

Rosero-Bixby *et al.*, (2002) también valoraron el riesgo de deforestación a futuro, identificando la cuenca del Río Rincón como una de las más vulnerables de deforestarse en los próximos años. Esta situación es preocupante ya que la deforestación y el cambio de uso de la tierra han sido señalados como causantes de alteraciones importantes en los regímenes hidrológicos y en la biodiversidad de la fauna acuática.

Por ejemplo, la deforestación del bosque en ríos tropicales de Asia, resultó en incrementos de la turbidez y la sedimentación del lecho de los ríos, influenciando negativamente la productividad primaria y secundaria y la biodiversidad de peces e invertebrados (Dudgeon, 2000). También desde el punto de vista biológico, Diamond *et al.* (2002) relacionaron el uso de la tierra con la riqueza de especies de almejas y peces, determinándose que el porcentaje de tierra ocupado por los usos urbanos y agricultura, afectaba negativamente los índices de diversidad de peces, mientras que el porcentaje de bosque se relacionó positivamente con la riqueza de almejas.

Por otro lado, análisis realizados en áreas con reciente conversión de uso del suelo en Tennessee (de bosque a urbano o plantación forestal de pino), demostraron que la abundancia de macroinvertebrados críticos (taxa intolerantes) fue significativamente menor en los sitios alterados que en el bosque, mientras que la abundancia general de macroinvertebrados (taxa tolerantes) fue mayor en sitios alterados, debido al incremento de sedimentos en los ríos (McGrath *et al.*, 2004).

Este último ejemplo es también una indicación de que el hecho de sembrar árboles de nuevo en sitios donde solía existir bosque no necesariamente servirá para mantener las condiciones de un sitio inalterado. El problema con las plantaciones forestales es que van a ser determinantes en la carga de sólidos en suspensión, dependiendo de la fase en la que se encuentren, ya que se ha señalado que las cargas de sedimentos se incrementan en la fase

inicial de la plantación, posteriormente, mientras los árboles están en crecimiento, se recuperan los promedios normales de carga, pero vuelven a incrementarse significativamente durante la cosecha (Stotta y Mountb, 2004).

RELACIÓN DE LA CONCENTRACIÓN DE SÓLIDOS SUSPENDIDOS CON EL USO DE LA TIERRA

La sedimentación es un proceso natural que ocurre en los ríos y quebradas en tiempo geológico. Sin embargo, cada vez más, las actividades que alteran la cobertura natural de la tierra están acelerando este proceso al incrementar el escurrimiento, la erosión y finalmente, aumentando la entrada y deposición de sedimentos en los ríos y quebradas (Sutherland et al. 2002).

Al evaluar los efectos de los cambios en el uso del suelo sobre la erosión y la sedimentación, se debe distinguir entre la erosión superficial, la erosión hídrica y los movimientos en masas. La erosión superficial rara vez es significativa en las áreas donde la superficie del suelo se encuentra protegida contra el impacto directo de la lluvia, la hídrica también es muy rara en bosques, pero puede desencadenarse por precipitaciones extremas, cuando el suelo queda expuesto por caída de árboles, y los movimientos en masas son desprendimientos o derrumbes de origen profundo: mayor a 3 m.

Esta distinción es importante porque la habilidad de la cobertura vegetal para controlar las formas de erosión es diferente en cada caso y, en ocasiones, los movimientos en masa tienen mucha más relación con la geología del sitio que con la cobertura de bosque (Bruijnzeel 2004). Inclusive, bajo condiciones extremas, como el paso de un huracán, la presencia de una cubierta arbórea muy alta puede hasta ser desventajosa, puesto que los árboles expuestos son proclives a ser arrancados de cuajo y además su peso puede ser un factor decisivo una vez que los suelos se saturan. Esto podría explicar por qué las concentraciones de sólidos suspendidos en Octubre fueron altas aún en las zonas con coberturas boscosas de más del 95%.

Por ejemplo, laderas situadas en áreas tectónicamente activas y expuestas a fallas de deslizamiento pueden tener cargas de SS mucho más altas -aún cuando exista presencia de una cobertura boscosa bien desarrollada- que aquellas ubicadas en áreas tectónicamente

estables, con suelos que no estén sujetos a erosión hídrica extensa, ni a movimientos en masa (Bruijnzeel 2004). Entonces, cualquier efecto de la tala del bosque sobre la cantidad de sedimento, será mucho más evidente en las áreas donde las tasas naturales de sedimento tienden a ser bajas (Bruijnzeel 2004), -como en la cuenca del Río Rincón-, ya que cuando las tasas son naturalmente altas, el incremento por tala podría no ser tan notorio.

La generación de sedimentos en cuencas de tamaño mediano que abrigan una gran variedad de tipos de uso de suelos, no proporcionan información acerca de los orígenes principales del sedimento. Sin embargo, es importante conocer qué porciones de la cuenca, o qué procesos o usos, contribuyen con la mayoría del sedimento, para poder diseñar y evaluar los planes de conservación de suelos (Bruijnzeel 2004).

El uso de la tierra se ha relacionado con la calidad del agua en muchos estudios. En algunos, como el de Jones *et al.* (2001) usaron métricas de paisaje para predecir las cargas de nutrientes y sedimentos en cuencas de la región medio-Atlántica de los Estados Unidos. Ellos encontraron que las métricas de paisaje explicaron hasta un 79% de la variabilidad en el fósforo disuelto y los sólidos suspendidos. Además, al igual que en el presente estudio, estos autores concluyeron que la cantidad de bosque y de agricultura fueron los factores que consistentemente explicaron el mayor porcentaje de la variación en la carga de sólidos suspendidos. Por otra parte, las diferencias en la concentración de sólidos suspendidos entre cuencas alta, media y baja, corrobora la relación de esta variable con el porcentaje de bosque en las subcuencas.

Mora y Chavarría (2008) también determinaron que en la cuenca del Río La Estrella en Limón, los sitios con alta pendiente, mayor cobertura forestal y menor impacto humano, presentaron las menores concentraciones de sólidos en suspensión. Los sitios donde hubo usos de la tierra más intensivos, por ejemplo, plantaciones bananeras presentaron mayores concentraciones de SS, aún teniendo menores pendientes.

En otro estudio, Sutherland *et al.* (2002) compararon la cobertura de la tierra con el transporte de sedimentos, tanto suspendidos como los depositados en el lecho y riberas del río. Esta investigación también encontró mayores concentraciones de sólidos en suspensión en las quebradas de sitios impactados que en zonas boscosas, tanto en condiciones de flujo base como en flujos de tormenta. Sin embargo, la diferencia entre ambos sitios fue más consistente durante los flujos base.

Lo mismo podría decirse sobre lo ocurrido en la cuenca del Río Rincón, ya que en Octubre, cuando se presentaron los flujos de tormenta en los ríos que componen la cuenca, las concentraciones de sólidos en suspensión fueron elevadas en todos los puntos de muestreo (Fig. 6), alterando los datos promedio para cada punto. Por el contrario, el promedio de los demás meses da una idea más clara de la verdadera influencia del uso de la tierra sobre la concentración de sedimentos en cada punto.

Con respecto al mes de Octubre, cabe destacar que los datos de caudal calculados podrían estar subestimados pues no fue posible tomar los datos de profundidad y velocidad de la corriente en tres puntos a lo ancho del río, como lo explica la metodología, si no que se tuvo que tomar un solo dato a la orilla de los ríos pues su caudal era tan fuerte que era peligroso entrar en el cauce. Otra explicación es que hay un porcentaje del volumen de agua precipitada que se infiltra, se evapora o evapotranspira, por lo que las precipitaciones no necesariamente conllevarán un aumento significativo del caudal, en especial en sitios con alta cobertura boscosa.

El promedio de precipitación podría estar subestimado, ya que para el mes de Octubre no hay datos en una de las estaciones meteorológicas (Estación Los Patos), por lo que los datos provienen sólo de las estaciones Rincón y Golfito. También, es posible que el registro de precipitaciones proporcionado por el IMN pudiera estar errado, ya que durante este mes, lo que se observó en los ríos fueron las consecuencias de cinco huracanes y una depresión tropical formados en setiembre y cuatro huracanes y dos tormentas tropicales que se formaron en octubre, los cuales trajeron fuertes lluvias a la región centroamericana, especialmente en la costa Pacífica. Se reportó que las lluvias intensas registradas entre el 19 de setiembre y el 5 de octubre, dejaron como saldo una persona muerta, 535 viviendas afectadas, 277 vías nacionales dañadas y destruidos o afectados 117 puentes, 8 diques y 80 alcantarillas. La temporada cerró con Gamma, que se manifestó como un temporal en el Pacífico Sur (Guzmán-Brenes 2009, Ramírez y Zárate 2006, Estado de la Nación 2006).

Esta idea de la subestimación de precipitación y caudal podría reforzarse en el hecho de que, aún en años normales (sin una temporada de huracanes tan extendida), el mes de Octubre es el más lluvioso y el más caudaloso en el pacífico sur. Datos presentados por Pizarro (2004), indican que tanto la precipitación en la estación Palmar, como el caudal del Río Térraba, en el período de los años 1990 – 2000, fueron máximos en el mes de Octubre.

Asimismo, el promedio mensual de sedimentos suspendidos en el Río Térraba, durante el mismo periodo de años, presenta su pico máximo en este mes.

Esto hace suponer que las concentraciones de sólidos en suspensión del mes de Octubre de 2005, sí podrían estar relacionadas con un evento hidrometeorológico particular que fuera responsable del aumento en las precipitaciones y en la erosión y que como consecuencia, haya propiciado las altas concentraciones de sedimentos observadas en todos los puntos muestreados.

El trabajo de Sutherland *et al.* (2002) señala que los ríos en cuencas alteradas presentaron de cinco a nueve veces más transporte de sedimentos del lecho que las quebradas de referencia durante los flujos base y fue hasta un orden de magnitud mayor en flujos de tormenta. Además, concluyen que a partir de un 20% de cobertura sin bosque, el transporte de sedimentos aumenta dramáticamente. Si se analizan los datos para la cuenca del Río Rincón, no se observa una tendencia tan específica. Sin embargo el porcentaje de bosque sí se relacionó negativamente con la carga de sólidos en suspensión, mientras que el porcentaje de pastos y cultivos se relacionó positivamente con esta variable.

Esa relación del “%pastos y cultivos” con la carga de SS, puede deberse a que, al removerse la capa de detritus, empieza a haber un efecto sobre la estabilidad del agregado del suelo y la capacidad de infiltración. Cuando el pastoreo es intenso o hay raleos frecuentes o quemas, esto provoca mayor impermeabilización y compactación, y a su vez, una erosión acelerada (Bruijnzeel 2004).

Sponseller *et al.* (2001) analizaron los usos de la tierra tanto en la cuenca completa como en corredores al lado de los cuerpos de agua y encontraron que, aunque ciertamente el uso de la tierra en la cuenca tenía relación con los índices de macroinvertebrados, la influencia de los parches de la vegetación ribereña (el corredor 200 m a cada lado del río), puede ser crítica para la distribución de muchos taxa y para la físico-química de los puntos de muestreo en un río.

En Costa Rica, Lorion y Kennedy (2009a, 2009b) también estudiaron la relación del uso de la tierra y las franjas de vegetación ribereña con macroinvertebrados bentónicos y peces. Estos autores encontraron que la presencia de una barrera de vegetación reduce significativamente los efectos de la deforestación sobre la diversidad y estructura de las

comunidades bentónicas y sobre la estructura de peces. Además, los sedimentos que llegan a los cuerpos de agua son más abundantes cuando las prácticas de uso de la tierra como agricultura, silvicultura o construcción, se presentan adyacentes a los canales.

Al igual que Sponseller *et al.* (2001), otros autores han resaltado este último aspecto, ya que la cantidad de actividades productivas que se extienden hasta la ribera de los cauces, generan mucho mayores impactos que la cantidad o cobertura de esas actividades en la cuenca misma (Diamond *et al.* 2002). Observaron que los sitios más cercanos (<2 km) a áreas urbanas, autopistas o actividades mineras tuvieron índices de diversidad de peces significativamente menores que aquellos sitios que se encontraban a distancias mayores.

Jones *et al.* (2001) también encontraron que los cambios en la zona de vegetación riparia podrían incluso tener una influencia mayor sobre la calidad del agua en los ríos que las coberturas de la tierra a nivel de cuenca. En su modelo, el 47% de la variabilidad en la carga de sólidos suspendidos estaba explicado por el porcentaje de bosques ribereños en el área de estudio.

Una franja de vegetación ribereña intacta inhibe la entrega de sedimentos hasta los ríos y quebradas (Sponseller *et al.* 2001). Se ha observado que tan solo 19 m de bosque ripario remueven hasta un 90% de los materiales particulados que escurren desde las áreas agrícolas en una pequeña cuenca de Maryland (Peterjohn y Correll 1984) y que además, una franja de bosque ribereño de aproximadamente 600 m de largo minimiza los efectos de la conversión a pastos, ya que es capaz de devolver al ambiente condiciones similares a las de bosque -por ejemplo disminución de la irradiación y la temperatura así como estructura de los cauces (Storey y Crowley 1997).

Esto significa, que aún cuando en la cuenca del Río Rincón, ya hubo una conversión del bosque a agricultura y pastos (Rosero Bixby *et al.* 2002), y aún cuando esta circunstancia es difícil de revertir, los impactos sobre los ríos y quebradas de la cuenca (así como hacia el Golfo Dulce) pueden disminuirse en gran medida si se mantiene, protege y restaura una franja de vegetación ribereña apropiada, con especies de la zona.

CONCORDANCIA CAPACIDAD DE USO VS. USO DE LA TIERRA

La mejor práctica de conservación de suelos es el uso de la tierra acorde con su propia capacidad de uso. Si una tierra es utilizada más intensivamente que su propia capacidad, rápidamente aparecen los problemas de erosión de suelos y degradación. Cuando una tierra se utiliza por sobre su capacidad de uso, como puede ser una tierra de aptitud forestal usada para cultivos anuales, se produce un conflicto o divergencia de uso. Sin embargo, estrictamente, no todas las divergencias de uso producen degradación: las tierras que están subutilizadas presentan una divergencia de uso, pero no producen daño al ambiente (CADETI 2004).

Aún cuando en la cuenca del Río Rincón hay una alta concordancia entre la capacidad de uso de la tierra y el uso que efectivamente se le está dando (>95% si se suman las áreas en concordancia con las áreas en subuso), se puede observar que sí hay un conflicto, especialmente en la subcuenca del Río Riyito, donde el porcentaje de sobreutilización alcanzó el 11%. En esta subcuenca también hay una incongruencia porque los terrenos que sí tenían capacidad para usarse en actividades productivas, no se están utilizando y se presenta un subuso del 27%, lo que indica un mal manejo de las tierras en el pasado. Sin embargo no sería recomendable -ni permitido- talar el bosque de las zonas en subuso para colocar actividades agrícolas o pecuarias. Puesto que la Ley Forestal 7575 prohíbe el cambio de uso de suelo, no debería existir ningún tipo de deforestación adicional en esta zona, ni podría aumentar el área agrícola.

Aunque los porcentajes de sobreutilización no se relacionaron significativamente con la concentración o la carga de SS, es de esperar que cualquier aumento en las actividades humanas en las zonas altas de esta cuenca, con categoría de protección, podría traer consecuencias a corto y largo plazo. Zúñiga (2007), por ejemplo, expone el problema de la conversión de tierras de vocación forestal para uso de ganadería, agricultura y en especial, crecimiento urbano en los cerros de Escazú. En esta área, al igual que en muchas del país, la falta de políticas de ordenación o de restricción ha promovido las prácticas dañinas que impiden el uso sostenible de los recursos naturales y terminan por afectar las reservas de agua y las recargas de acuíferos.

De acuerdo con CADETI (2004), desde 1973 las cifras de sobreuso actual de la tierra reflejaban un 37,3% del territorio nacional, porcentaje que subió a 40,7% en 1984 y llegó a un máximo de 57,8% en 1988, año en que empezó a disminuir el sobreuso. Para el 2001, según información reportada por CIEDES, las tierras en sobreuso equivalían a un 19,8% del territorio nacional. Para los ríos de la Península de Osa en general, determinaron que el porcentaje de

uso adecuado es aproximadamente del 85%, mientras que el subuso y sobreuso se encuentran en 10 y 6%, respectivamente. Estos datos son muy similares a los reportados en el presente trabajo para la cuenca del Río Rincón con 86.6, 10.5 y 2.8% (Uso adecuado, subuso y sobreuso, respectivamente). Esto significa que en Osa no se presentan grandes áreas con sobreexplotación de la tierra, pero no debe asumirse que el esfuerzo por promover una adecuada planificación y ordenamiento del territorio no es necesario.

ESTIMACIÓN DE LA CARGA TOTAL DE SEDIMENTO

La cuenca del Río Rincón, a pesar de ser una de las cuencas más conservadas del país, transportó un estimado de 14 978 t de sólidos suspendidos en los meses de Julio a Diciembre hacia el Golfo Dulce. Es interesante que en algunos meses, la carga de SS fue menor en la “Desembocadura” que en el “Puente”, por ejemplo en setiembre y octubre (Cuadro 7). Esto podría achacarse a que el área de manglar tiende a propiciar altas tasas de deposición de sedimento, ya que la estructura de raíces aéreas de su vegetación, actúa como un filtro o trampa de sólidos (Kathiresan 2003, Pizarro 2004).

Saber si esta carga es alta o baja depende de varios factores, pero realizando un cálculo muy arbitrario -sólo para fines de comparación-, la carga promedio reportada para la época lluviosa ($11.68 \text{ t/km}^2/\text{mes}$) * 9 meses de estación lluviosa, más la carga del mes de marzo ($0.36 \text{ t/km}^2/\text{mes}$) * 3 meses de estación seca, da un estimado de $105.45 \text{ t/km}^2/\text{año}$.

De acuerdo con Warne *et al.* (2005), en Puerto Rico, las cuencas ubicadas hacia el sur y oeste del país, tienen altas cargas de sólidos suspendidos con 1400 a $1700 \text{ t/km}^2/\text{año}$ en promedio, por lo que podría considerarse que la cuenca del Río Rincón transporta una baja carga de sólidos suspendidos, comparada con los datos de Puerto Rico. Sin embargo, se ha indicado que la producción de sedimentos en suspensión de las cuencas en bosque lluvioso pueden ser tan bajos como 0.25 t/ha/año ($=25 \text{ t/km}^2/\text{año}$; Bruijnzeel 2004). En este caso podríamos decir que la carga transportada por la cuenca del Río Rincón es alta.

Si, por el contrario, se compara con las cargas de las margas de Java ($45 \text{ t/ha/año} = 4500 \text{ t/km}^2/\text{año}$; Bruijnzeel 2004), entonces se podría decir que las cargas en Rincón son bajísimas. Por esta razón, se debe tener cuidado al comparar este tipo de cifras para diferentes regiones. Tomando en cuenta que la zona de vida en la cuenca del Río Rincón es

prioritariamente bosque lluvioso y que el Golfo Dulce es un ambiente muy delicado, es preferible indicar que la carga es alta y promover los esfuerzos para su disminución.

Sin embargo, también debe considerarse que las concentraciones de sedimento pueden variar mucho de un año a otro, por lo que no sería apropiado suponer que la misma cantidad de sedimentos se transportan durante las estaciones lluviosas de diferentes años. Las cargas de sedimentos tienden a presentar valores desproporcionadamente altos durante los periodos o años de gran abundancia de agua, o aún durante eventos extremos individuales (Bruijnzeel 2004). Por ejemplo, en el Río Atna, en Noruega, el transporte de sedimentos varió entre un valor mínimo de 574 t/año en 1991 hasta un máximo de 60 651 t/año en 1995 (Bogen 2004).

Parte de esta variación se explica porque cuando ocurren eventos hidrometeorológicos intensos, por lo general se erosiona mucho material, una parte del cual puede quedar depositada en las depresiones, a los pies de las laderas o en planicies aluviales. Mientras más superficie tenga la cuenca, más oportunidades de almacenamiento de sedimentos (Bruijnzeel 2004). Por esta razón, pueden seguir presentándose concentraciones altas de sedimentos tras estos eventos, aún cuando no haya erosión en las laderas, cada vez que el agua alcance el nivel de los sedimentos depositados y los remueva. Es decir que el mismo lecho del río se convierte en una fuente de abastecimiento de sedimentos a largo plazo (Bogen 2004, Collins y Walling 2004).

Larsen y Santiago-Román (2001), citados en Warne *et al.* (2005), evidenciaron que durante el periodo de mayor actividad agrícola en Puerto Rico, la cantidad masiva de sedimentos erosionados fue temporalmente almacenada en las zonas más bajas y en los ríos. Ese sedimento ubicado cerca de los cauces, provee abundante material de transporte para tormentas moderadas a grandes. Estos autores aseguran que el sedimento almacenado podría mantener niveles alterados en las cargas de sólidos en suspensión hasta por 100 años. Por el contrario, durante los períodos en que los ríos no están en contacto con estos depósitos, la concentración de sedimentos puede mantenerse baja (Bogen 2004, Collins y Walling 2004, Hicks *et al.* 2004).

Esta condición -aunque muy probablemente en menor escala-, podría estarse presentando en la cuenca del Río Rincón, ya que los eventos de Octubre de 2005 y otros anteriores, deben haber depositado grandes cantidades de sedimento en el lecho y las orillas de los ríos, y este sedimento seguirá transportándose al Golfo Dulce y aumentando la

concentración de sólidos en suspensión, aún cuando no haya erosión de las laderas. Es importante destacar que de las 14 978 t estimadas, 11 933 t se transportaron durante el mes de Octubre.

Este mismo mes se registró la mayor concentración de sólidos en suspensión de todo el periodo de muestreo (1000 mg/l ó 1 g/l). Esta concentración, aunque en términos generales sigue considerándose baja (algunos ríos en Taiwan excedieron los 40 g/l; Milliman y Kao 1996), es suficientemente alta para provocar flujos hiperpícnicos. Estos flujos, definidos como descargas fluviales con flotación negativa, que ocurren cuando las aguas con altas concentraciones de sedimentos adquieren una densidad mayor a la del agua de mar y por lo tanto, se hunden bajo ellas, alterando directamente el fondo marino (Warne *et al.* 2005). En este caso, el agua no se hundirá en su totalidad, sino que la pluma hipopícnica presentará una inestabilidad que genera una especie de pequeñas plumas en forma de dedos (como una lluvia de sedimentos) que podrían transportar grandes cantidades de sedimento más allá de la plataforma continental (Parsons 2001).

El sedimento que se transporta a las costas puede contener materia orgánica que sirve como fuente de energía para los organismos marinos, incluyendo los corales. Sin embargo, concentraciones crónicas de 10 a 20 mg/l pueden causar reducción en las tasas de crecimiento debido a la reducción de los niveles de luz y al requerimiento de energía de los pólipos para quitarse el sedimento de encima. Además, la deposición de sedimento sobre las superficies duras, las va convirtiendo lentamente en superficies suaves que no son aptas para el establecimiento de nuevas colonias.

De acuerdo con los resultados de este trabajo, esas concentraciones (10 a 20 mg/l), no sólo son comunes si no que se sobrepasan constantemente en la cuenca del Río Rincón. Nótese que la concentración promedio en el punto de muestreo Puente es de casi 50 mg/l. Esto, aunado al hecho de que los sedimentos transportados pueden estar asociados con sustancias tóxicas como metales pesados o residuos de plaguicidas u otras sustancias tóxicas (De Siervi *et al.* 2005, García-Céspedes *et al.* 2004, Fuller *et al.* 1990, Sponberg 2004), hace que la problemática sea importante, aún cuando se considere que al comparar esta cuenca con otras, su carga de sedimentos no es tan alta. Esto es también un indicativo de que el problema existe dependiendo de la escala en la que se mida y que debido a la fragilidad del Golfo Dulce, es importante que se tomen todas las medidas de protección posibles.

Recomendaciones de este estudio:

- Se debe promover la reforestación y el mantenimiento de franjas de vegetación ribereña apropiadas (con especies nativas) que ayuden a disminuir la carga de sedimentos que se escurren hacia los cuerpos de agua y que también susciten cambios en los microhábitats de ríos alterados, recuperando la diversidad de organismos acuáticos, tal como se ha observado en la literatura.
- Al mismo tiempo, se deben realizar más investigaciones en esta zona, para comprobar la importancia de la franja de vegetación riparia y si ésta realmente podría ser una opción viable hacia la disminución efectiva de la carga de sedimentos en la cuenca del Río Rincón y en otras cuencas cercanas.
- Es trascendental tomar en consideración las posibles consecuencias de eventos extremos en cualquier plan de manejo o conservación de suelos que se lleve a cabo en esta y otras cuencas. Su importancia radica en que a raíz del cambio climático, se pronostica un aumento en la frecuencia de eventos extremos, que obliga a desplegar una mayor prevención ante los mismos. Éstos, no deben verse como eventos aislados e irrelevantes, sino como componentes de la dinámica actual de las cuencas.
- Sería muy recomendable establecer una estación de aforo permanente en esta cuenca (y otras cuencas de la zona), de forma que las estimaciones de carga de sólidos en suspensión sean más cercanas a la realidad y pueda determinarse con mayor exactitud el impacto potencial de estos sedimentos sobre los ecosistemas del área.
- Se ha observado que los caminos no pavimentados pueden producir un enorme aporte de sedimentos que se transportan directamente hacia las quebradas (Bertie 2000, Warne 2005). Además, los muy considerables volúmenes de escurrimientos generados por dichas superficies pueden promover formación de barrancos y hondonadas. Por lo tanto, los aportes de sedimentos a la red de corrientes hechos por los caminos y los asentamientos pueden ser desproporcionadamente grandes para su superficie relativamente pequeña (Bruijnzeel 2004). A raíz de esto, se podrían diseñar algunos sistemas que funcionen como trampas que ayuden a evitar el transporte de algún

porcentaje de estos sedimentos hacia los ríos. Se considera que este punto es importante ya que la gran mayoría de los caminos en los alrededores y dentro de esta cuenca no están pavimentados y además pasan bastante cerca de los ríos.

- Es importante que las municipalidades vigilen que las actividades realizadas en cada zona concuerden con la capacidad de uso de la tierra. También debería promoverse la regeneración natural de los charrales y tacotales y no su transición a usos agropecuarios.
- Las áreas donde existe un sobreuso de la tierra, deberían considerarse prioritarias para someterlas a acciones que reviertan los usos degradantes. Debe mantenerse el control y planificación para evitar que nuevos terrenos sean utilizados por encima de su potencial.
- Sería conveniente fomentar la utilización de lombricompost en las áreas agrícolas de la cuenca del Río Rincón, ya que De Siervi *et al.* (2005) encontraron que en la cuenca de Matanza, Argentina, la pérdida de suelo por erosión es mucho menor cuando se usa lombricompost en lugar de fertilizantes regulares y que, por lo tanto, utilizarlo en las áreas agrícolas puede ser muy efectivo en el control de la erosión. Además, comprobaron que el suelo perdido tenía mucho menores concentraciones de metales pesados, lo cual es una ventaja adicional.

REFERENCIAS

- Berrange, J.P. 1992. Gold from the Golfo Dulce placer province, southern Costa Rica. *Rev. Geol. Amér. Cent.* 14: 13-37.
- Bertie, S. 2000. Effects of logging roads on erosion in a wet tropical forest in the Río Riyito watershed, Península de Osa, Costa Rica. Masters Thesis, Colorado State University, Fort Collins, CO. 103 p.
- Bogen, J. 2004. Erosion and sediment yield in the Atna river basin. *Hydrobiologia* 521: 35-47.
- Borbón, A. 2000. Análisis de la Producción y Transporte de sedimentos en la Cuenca del Río General. Tesis de Licenciatura en Ingeniería Civil. Escuela de Ingeniería Civil, Universidad de Costa Rica. 87 p.
- Brenes, A. y A. Bonilla. 2006. Ponencia: Gestión del Riesgo. Duodécimo Informe del Estado de la Nación en desarrollo humano sostenible. 25 p.
- Brenes, L.G.; González C.; Ureña H.; Cordero P. 1987. Informe preliminar sobre el impacto ambiental de la explotación del oro en el Parque Nacional Corcovado, Península de Osa, Costa Rica. Informes 1 y 2. 50 p.
- Bruijnzeel, L.A. 2004. Los Bosques Tropicales y los Servicios Ambientales. Acaso los árboles impiden ver el Terreno?. *Agriculture, Ecosystem and Environment*. Edit. Fac. de Hidrología y Ciencias de la Vida y la Tierra, Vrije Iniversiteit Amsterdam. 45 p.
- CADETI (Comisión Asesora sobre Degradación de Tierras). 2004. Programa de Acción Nacional de lucha contra la degradación de tierras en Costa Rica / CADETI. 2 ed. San José, C.R.: MINAE-CADETI. 111 p.
- Capó Martí, M.A. 2007. Principios de ecotoxicología, Diagnóstico, tratamiento y gestión del medio ambiente. Editorial Tebar, Madrid. 320 p.
- Castro, C. 2004. Evaluación de una metodología de arrastre de sedimentos por el fondo, en los ríos de Costa Rica. Tesis de Licenciatura en Ingeniería Civil. Escuela de Ingeniería Civil, Universidad de Costa Rica. 136 p.
- Charpantier, C.; Tabash F. 1988. Variaciones en la diversidad de la comunidad bentónica del sedimento: un indicador biológico del estado de contaminación de los ríos de la Subregión Heredia, Costa Rica. *Uniciencia* 5: 69-76.
- Collins, A.L. y D.E. Walling. 2004. Documenting catchment suspended sediment sources: problems, approaches and prospects. *Progress in Physical Geography* 28 (2): 159–196.

- Cordero, A.E. 1977. Un caso de contaminación fluvial: río Bermúdez. Metodología para evaluar el impacto agroeconómico y ecológico. Práctica presentada como requisito parcial para optar al grado de ingeniero agrónomo. Facultad de Agronomía, Universidad de Costa Rica. 129 p.
- Cortés, J. 1990. Coral reef decline in Golfo Dulce, Costa Rica eastern Pacific: Anthropogenic and Natural disturbances. PhD. Dissertation. University of Miami, Coral Gables, FL (USA). 161 p.
- Cortés, J. 1992. Los arrecifes coralinos del Golfo Dulce, Costa Rica: aspectos ecológicos. *Rev. Biol. Trop.* 40: 19-26.
- Coto, J.L. 1971. Análisis de los problemas de disposición final y tratamiento de las aguas negras del área metropolitana de San José. Tesis de Licenciatura en Ingeniería Civil. Escuela de Ingeniería Civil, Universidad de Costa Rica. 46 p.
- De Siervi, M., A.F. de Lorio y C.I. Chagas. 2005. Heavy Metals in Sediments and Runoff Waters in Soils of the Matanza River Basin, Argentina. *Communications in Soil Science and Plant Analysis*, 36: 2303-2314.
- Diamond, J.M., D.W. Bressler y V.B. Serveis. 2002. Assessing relationships between human land uses and the decline of native mussels, fish and macroinvertebrates in the Clinch and Powell river watershed, USA. *Environmental Toxicology and Chemistry*, 21(6): 1147–1155.
- Dudgeon, D. 2000. The ecology of tropical Asian rivers and streams in relation to biodiversity conservation. *Annual Review of Ecology and Systematics*, 31: 239–263.
- Fallas, J. 2008. Mapa de subcuencas de Costa Rica, 1:50 000. Fuente: Jorge Fallas.
- Fanlo, A. 2007. La unidad de gestión de las cuencas hidrográficas. Editorial Fundación Instituto Euromediterráneo del Agua. España, 453 p.
- Franquet Bernis, J.M. 2005. Agua que no has de beber...60 respuestas al Plan Hidrológico Nacional. EUMEDNET, Malaga, España. 95 p.
- Fuller, C.C., J.A. Davis, D.J. Cain, P.J. Lamothe, T.L. Fries, G. Fernández, J.A. Vargas & M.M. Murillo. 1990. Distribution and transport of sediment-bound metal contaminants in the Río Grande de Tárcoles, Costa Rica (Central America). *Water Res.* 24: 805-812.
- García-Céspedes, J., J. Acuña-González y J.A. Vargas-Zamora. 2004. Metales traza en sedimentos costeros de Costa Rica. *Rev. Biol. Trop.* 52 (Suppl. 2): 51-60.
- Gómez, F. 2002. Evaluación de la erosión potencial y producción de sedimentos en tres cuencas de Costa Rica. Tesis de Licenciatura en Ingeniería Civil. Escuela de Ingeniería Civil, Universidad de Costa Rica. 140 p.
- González, C. 1992. Impacto ambiental de la explotación de oro artesanal, Península de Osa,

-
- Puntarenas, Costa Rica. Tesis de Licenciatura en Geografía con énfasis en ordenamiento del medio natural. Escuela de Historia y Geografía, Departamento de Geografía. 156 p.
- Guzmán-Brenes, L.A. 2009. El cambio climático: Causas, consecuencias y la reducción de riesgos de desastre de Cruz Roja Costarricense. Fuente: San José; Cruz Roja Costarricense. Proyecto Cambio Climático. Dirección Nacional de Socorros y Operaciones. 89 p.
- Hebbeln, D. y J. Cortés. 2001. Sedimentation in a tropical fjord: Golfo Dulce, Costa Rica. *Geo-Marine Letters* 20: 142-148.
- Herrera, E. 1978. Arrastre de sedimentos en canales naturales. Informe de Proyecto final para Graduación. Escuela de Ingeniería Civil, Universidad de Costa Rica. 189 p.
- Hicks D.M., B. Gómez, N.A. Trustrum. 2004. Event Suspended Sediment Characteristics and the Generation of Hyperycnal Plumes at River Mouths: East Coast Continental Margin, North Island, New Zealand. *The Journal of Geology* 112: 471-485.
- ICE (Instituto Costarricense de Electricidad /Sogreah Ingeniería SNC.-Gómez, Cajiao y Asociados S.A.-SINERGIA 69 S.A.). 1999. Informe Final /Plan de Manejo Integral de la Cuenca del Río Reventazón. Costa Rica. 376 p.
- ICWE. International Conference of Water and the Environment: development issues for the 21st century (26-31 de enero 1992, Dublín, Irlanda). 1992. Secretaría de la Conferencia Internacional sobre Agua y Desarrollo, OMM, Ginebra, Suiza. 210 p.
- INBio. 2006. Mapa de cobertura de la tierra, 1: 50 000, Fuente: INBio.
- ITCR. 2008. Mapa de curvas de nivel, 1: 50 000, Fuente: Atlas Costa Rica, 2008. Instituto Tecnológico de Costa Rica.
- Jansson, M.B. 2002. Determining sediment source areas in a tropical river basin, Costa Rica. *Catena* 47: 63-84.
- Jansson, M.B.; Strömberg K. 2004. Surface runoff and soil loss in tropical rainforest and pasture, Costa Rica, and indices explaining their variations. *Z. Geomorph. N. F.* 48: 25-51.
- Jones, K.B., A.C. Neale, M.S. Nash, R.D. Van Remortel, J.D. Wickham, K.H. Riitters y R.V. O'Neill. Predicting nutrient and sediment loadings to streams from landscape metrics: A multiple watershed study from the United States Mid-Atlantic Region. *Landscape Ecology* 16: 301–312.
- Jiménez, F. 2004. Curso de Manejo Integrado de Cuencas Hidrográficas. CATIE, Turrialba, Costa Rica. 164 p.
- Kappelle, M., M. Castro, H. Acevedo, L. González y H. Monge. 2002. Ecosistemas

-
- del Área de Conservación Osa (ACOSA). Serie Técnica Ecosistemas de Costa Rica. Editorial INBio. Heredia, Costa Rica. 332 p.
- Krishnaswamy, J. 1999. Effects of forest conversion on soil and hydrologic processes in the Térraba basin of Costa Rica. PhD thesis, Duke University, USA. (resumen).
- Krishnaswamy, J.; Richter D.; Halpin P.N.; Hofmockel M. 2001. Spatial patterns of suspended sediment yields in a humid tropical watershed in Costa Rica. *Hydrol. Process.* 15: 2237-2257.
- Lautenbacher, C. 2007. Instrumento flexible. Pp. 5-6. *In: Nuestro Planeta El Medio Marino. Revista del Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente.* Diciembre, 2007.
- López, J.C. 2001. Análisis de la producción de sedimentos en la cuenca del río Bananito y la estabilidad lateral del río. Tesis de Licenciatura en Ingeniería Civil. Escuela de Ingeniería Civil, Universidad de Costa Rica. 126 p.
- Lorion, C.M. y B.P. Kennedy. 2009. Relationships between deforestation, riparian forest buffers and benthic macroinvertebrates in neotropical headwater streams. *Freshwater Biology* 54: 165–180.
- Lorion, C.M. y B.P. Kennedy. 2009. Riparian forest buffers mitigate the effects of deforestation on fish assemblages in tropical headwater streams. *Ecological Applications* 19 (2): 468–479.
- Maldonado, T. 1997. Uso de la tierra y fragmentación de bosques. Algunas áreas críticas en el Área de Conservación Osa, Costa Rica. Centro de Estudios ambientales y políticas, Unidad técnica, Fundación Neotropical. 71 p.
- Mata, A.; Blanco O. 1994. La Cuenca del Golfo de Nicoya: un reto al desarrollo sostenible. Edit. Universidad de Costa Rica. San José, Costa Rica. 235 p.
- McGrath, D.A., J.P. Evans, C.K. Smith, D.G. Haskell, N.W. Pelkey, R.R. Gottfried, C.D. Brockett, M.D. Lane y E.D. Williams. 2004. Mapping Land-Use Change and Monitoring the Impacts of Hardwood to Pine Conversion on the Southern Cumberland Plateau in Tennessee. *Earth Interactions*, 8: 1-25.
- Michels, A. 1998a. Use of diatoms (Bacillariophyceae) for water quality assessment in two tropical streams in Costa Rica. *Rev. Biol. Trop.* 46. (Supl. 6): 143-152.
- Michels, A. 1998b. Effects of sewage water on diatoms (Bacillariophyceae) and water quality in two tropical streams in Costa Rica. *Rev. Biol. Trop.* 46. (Supl. 6): 153-175.
- Milliman, J.D. y S.-J. Kao. 2005. Hyperpycnal Discharge of Fluvial Sediment to the Ocean: Impact of Super-Typhoon Herb (1996) on Taiwanese Rivers. *The Journal of Geology* 113: 503-516.

-
- Mora, I. 1987. Evaluación de la pérdida de suelo mediante la ecuación universal (EUPS): aplicación para definir acciones de manejo en la cuenca del río Pejibaye, Vertiente Atlántica, Costa Rica. Tesis de Maestría, Centro Agronómico Tropical de Investigación y Enseñanza, Turrialba, Costa Rica.
- Mora, C. y J.B. Chavarría. 2008. Factores que afectan la cuenca del río La Estrella y recomendaciones para la gestión ambiental en su zona costera (Caribe de Costa Rica). *Rev. Biol. Trop.* 56 (Supl. 4): 191-203.
- Parsons, J.D., J.W. Bush y J.P.M Syvitski. 2001. Hyperpycnal plume formation from riverine outflows with small sediment concentrations. *Sedimentology* 48: 465–478.
- Peterjohn, W.T. y D.L. Correll. 1984. Nutrient dynamics in an agricultural watershed: observations on the role of a riparian forest. *Ecology*, 65:1466-1475.
- PNUMA (Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente). 2000. Perspectivas del medio ambiente mundial. Clarke, R. (ed.). Mundi-prensa, Madrid. 398 p.
- Porras, G. 1976. Análisis de los principales problemas en las cuencas hidrográficas de los ríos Itiquis y Ciruelas. Práctica presentada como requisito parcial para optar al grado de ingeniero agrónomo. Facultad de Agronomía, Universidad de Costa Rica. 106 p.
- Programa Estado de la Nación. 2003. 10 informe. Pp. 239-419, Capítulo Armonía con la Naturaleza., Estado de la Nación en desarrollo humano sostenible, Costa Rica.
- Ramírez, J.M. 1987. Estudio sinóptico para mejorar el programa de evaluación de la contaminación en la cuenca del río Grande de Tárcoles. Tesis de Licenciatura en Química, Universidad de Costa Rica. 104 p.
- Ramírez, A. y Viña G. 1998. Limnología Colombiana. Aportes a su conocimiento y estadísticas de análisis. Universidad Jorge Tadeo Lozano, Bogotá, Colombia. 293 p.
- Ramírez, P. y E. Zárate. 2006. 2005: Año de récords hidrometeorológicos en Centroamérica. Comité Regional de Recursos Hídricos del Istmo Centroamericano (CRRH). Organismo especializado del Sistema de la Integración Centroamericana (SICA). 27 p.
- Rodríguez, F. 1981. Elaboración de un programa de monitoreo para la cuenca del río Grande de Tárcoles. Informe de proyecto final de graduación. Facultad de Ingeniería, Universidad de Costa Rica. 77 p.
- Rosero-Bixby, L.; Maldonado-Ulloa T.; Bonilla-Carrión R. 2002. Bosque y Población en la Península de Osa, Costa Rica. *Rev. Biol. Trop.* 50: 585-598.
- Silva-Benavides, M. 1996. The use of water chemistry and benthic diatom communities for qualification of a polluted tropical river in Costa Rica. *Rev. Biol. Trop.* 44: 395-416.
- Sponberg, A.L. 2004. PCB contamination in marine sediments from Golfo Dulce, Pacific coast of Costa Rica. *Rev. Biol. Trop.* 52 (supl. 2): 23-32.

-
- Storey, R.G. y D.R. Cowley. 1997. Recovery of three New Zealand rural streams as they pass through native forest remnants. *Hydrobiologia*, 353: 63-76.
- Stotta, T. y N. Mountb. 2004. Plantation forestry impacts on sediment yields and downstream channel dynamics in the UK: a review. *Progress in Physical Geography* 28 (2): 197–240.
- Svendsen, H., R. Rosland, S. Myking, J.A. Vargas, O. Lizano y E.J. Alfaro. 2006. A physical oceanographic study of Golfo Dulce, Costa Rica. *Rev. Biol. Trop.* 54 (Suppl. 1): 147-170.
- Tabash, F. 1988. Utilización de indicadores biológicos para el diagnóstico del estado de contaminación de las aguas lóxicas. *Uniciencia* 5: 87-89.
- Umaña, G. 1998. Characterization of some Golfo Dulce drainage basin rivers (Costa Rica). *Rev. Biol. Trop.* 46 (Supl. 6): 125-135.
- Valiente, C.I. 1993. Caracterización micológica de aguas “crudas” y filtradas en la Planta de Tratamiento de Tres Ríos, Costa Rica. *Rev. Biol. Trop.* 41: 417-422.
- Vega, B. 1976. Análisis de la contaminación orgánica de los ríos Torres y María Aguilar. Informe de proyecto final para graduación. Facultad de Ingeniería, Universidad de Costa Rica. 92 p.
- Warne, A.G., R.M.T. Webb y M.C. Larsen. 2005. Water, Sediment, and Nutrient Discharge Characteristics of Rivers in Puerto Rico, and their Potential Influence on Coral Reefs: U.S. Geological Survey Scientific Investigations Report 2005-5206. 58 p.
- Zúñiga W. 2007. Los Cerros de Escazú, un ejemplo del uso irracional de los paisajes. *Rev. Reflexiones* 86-1: 59-75