



CENTRO AGRONÓMICO TROPICAL
DE INVESTIGACIÓN Y ENSEÑANZA
ESCUELA DE POSGRADO

Identificación de áreas prioritarias en la oferta de servicios ecosistémicos para establecer esquemas de Pagos (PSA) direccionados, Costa Rica.

por

Natalia Estrada Carmona

Tesis sometida a consideración de la Escuela de Posgrado
como requisito para optar por el grado de

Magister Scientiae en Socioeconomía Ambiental

Turrialba, Costa Rica, 2009


Esta tesis ha sido aceptada en su presente forma por el Programa de Educación para el Desarrollo y la Conservación y la Escuela de Posgrado del CATIE y aprobada por el Comité Consejero del Estudiante como requisito parcial para optar por el grado de:

MAGISTER SCIENTIAE EN SOCIOECONOMÍA AMBIENTAL


FIRMANTES:



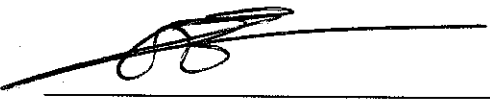
Fabrice De Clerck, Ph.D.
Consejero Principal



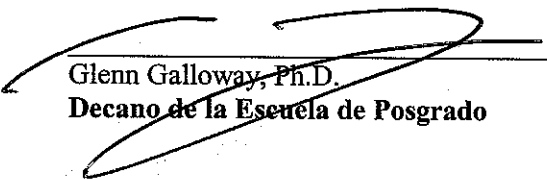
Guillermo Navarro, Ph.D.
Miembro Comité Consejero




Pablo Imbach, M.Sc.
Miembro Comité Consejero



Olivier Deheuvels, M.Sc.
Miembro Comité Consejero



Glenn Galloway, Ph.D.
Decano de la Escuela de Posgrado



Natalia Estrada Carmona
Candidata

Dedicatoria

Este trabajo se lo dedico a toda mi familia por su apoyo y acompañamiento incondicional!!!. Especialmente a mis hermanas Nebai y Milena..... mi gran motivación!!!!

...Y a todos y cada una de las personas que me apoyaron, acompañaron, ayudaron, soportaron, en esta etapa de crecimiento académico y personal!!!

Agradecimientos

Poner en palabras los sentimientos de gratitud es una tarea difícil, ya que en muchos casos las palabras quedan cortas para expresarlos; sin embargo, haré un intento de plasmar mis agradecimientos profundos hacia todas o al menos la mayoría de las personas que me acompañaron y apoyaron.

- Primero agradezco enormemente el apoyo, acompañamiento y motivación por parte de Fabrice DeClerck para realizar este trabajo y continuar estudiando...
- A Pablo Imbach mil gracias también por su apoyo, paciencia y orientación.
- A Guillermo Navarro y Olivier Deheuvels por sus recomendaciones y orientaciones.
- Al proyecto CAFNET porque me facilitó y apoyó para realizar esta investigación.
- A Partners in flight, especialmente a Pablo Eliozone por su apoyo y contribución con información de aves de las diferentes estaciones de avistamientos en Costa Rica (Estaciones de monitoreo PIF Costa Rica, Programa Integral de Monitoreo de Aves de Tortuguero, San Vito Bird Club y Asociación Ornitológica de Costa Rica).
- Al Programa de Monitoreo de Aves del CATIE por la información y el apoyo brindado.
- A la organización LightHawk por su apoyo con el sobrevuelo en el área de estudio, y especialmente a mi amiga Alejandra Martínez por la gestión y consecución de esta oportunidad.
- Al ICE por toda la información brindada, especialmente al Ingeniero Carlos Roberto Rodríguez Meza.
- A Federico Gómez por su apoyo y asesoramiento en el componente erosión, a Alejandra Martínez por sus conocimientos sobre aves que me permitió trabajar conectividad funcional!, a Carlitos Cerdán por todo su conocimiento local, a Cristian Brenes y Guillermo Molina por toda la información facilitada y apoyo en SIG, pero sobre todo la amistad que me brindaron!!!!
- A André Sanfiozeno por su apoyo y acompañamiento en la modelación de la conectividad.
- A mi amiga Astrid Pulido por compartir su conocimiento sobre la modelación de nichos ecológicos y especialmente por todo su apoyo y colaboración.
- A Alberto Lázaro, mi amigo del alma que me acompañó y apoyo siempre!!!!,
- A todos los amigos de la Villa Desencantada que me abrieron sus brazos y me dieron fuerzas. Especialmente mis amigas Astrid, Adina y Ana.
- De nuevo a mis amigos Carlitos por su enorme paciencia y sus oportunas revisiones, correcciones y asesoramiento, a Aleja igualmente por su paciencia y acompañamiento!!, a Kelly por las ayudas con el inglés.
- A mi amigo Sergio Vilchez por su apoyo, orientación y asesoría con la estadística
- A Álvaro Vallejo, Diana, Giuseppe y Dora... mi familia putativa que me recibió y apoyo durante mi estadía en CATIE....

Finalmente a todas las personas, amigos, compañeros que hicieron parte de mí día a día, y que me permitieron construir una experiencia llena de alegrías, aprendizajes y crecimiento personal.

• Contenido

Dedicatoria	III
Agradecimientos.....	IV
RESUMEN.....	VII
ABSTRACT	VIII
Índice de Figuras	X
Índice de Cuadros.....	XII
Lista de unidades, abreviaturas y siglas	XIII
Artículo de investigación I.....	6
1. Introducción.....	6
2. Área de estudio.....	8
3. Marco Teórico	11
3.1. Ecuación Universal de Pérdida de Suelo Revisada (EUPSR).....	11
3.1.1. Factor K: Erodabilidad del suelo.....	12
3.1.2. Factor C, Manejo y cobertura del suelo.....	13
3.1.3. Factor R, Erosividad de la lluvia.....	15
3.2. Ajuste de los valores estimados por el modelo con los valores medidos por las estaciones.....	17
4. Resultados	18
4.1. Calculo de la erosión con la extensión NSPECT	18
4.2. Comparación de los valores estimados y reales	25
4.3. Modelación del cambio en la erosión variando el factor C para el cultivo del café.....	27
4.4. Identificación de áreas con restricciones de uso.....	30
4.4.1. Capacidad de uso de las tierras.....	30
4.4.2. Protección de los cauces de los ríos	33
4.4.3. Priorización de acciones de conservación dentro de los corredores biológicos	34
4.4.4. Cambios temporales del cultivo del café.....	34
4.5. Priorización de áreas	36
5. Discusión.....	38
5.1. Modelos y programas.....	38
5.2. La importancia de las áreas de café vs. otros usos	40
5.3. Selección de áreas prioritarias.....	40
6. Bibliografía.....	41
Artículo de investigación II.....	46
1. Introducción.....	46

2.	Área de estudio	49
3.	Métodos	51
3.1.	Selección de especies	51
3.2.	Modelación nichos ecológicos	55
3.3.	Conectividad funcional.....	58
3.3.1.	Calidad del hábitat.....	59
3.3.2.	Parches funcionales	62
3.3.3.	Construcción de la red de conectividad.....	62
3.3.4.	Modelación de diferentes paisajes.....	63
3.3.5.	Rutas de conectividad estructural y funcional en el CBVCT	64
4.	Resultados	64
4.1.	Modelación nichos ecológicos	64
4.2.	Conectividad funcional.....	67
4.2.1.	Calidad del hábitat.....	67
4.2.2.	Parches funcionales y corredores	68
4.2.3.	Modelación de diferentes escenarios de cambio del paisaje	71
4.2.4.	Rutas de conectividad estructural y funcional en el CBVCT	72
5.	Discusión.....	73
5.1.	Selección de especies	73
5.2.	Modelación de nichos ecológicos.....	73
5.3.	Conectividad funcional.....	74
6.	Bibliografía.....	76

Estrada N. 2009. Identificación de áreas prioritarias en la oferta de servicios ecosistémicos para establecer los esquemas Pagos (PSA) direccionados, Costa Rica. Tesis Mag Sc., CATIE, Turrialba, Costa Rica. 95p.

Palabras claves: Servicios ecosistémicos, SIG, control erosión, conectividad funcional, PSA

RESUMEN

El Pago por Servicios Ecosistémicos (PSE) ha generado muchas expectativas en las organizaciones de conservación y producción, debido al alto potencial para lograr al mismo tiempo la protección de la biodiversidad y mejorar los medios de vida de los productores. La capacidad de una finca de proveer un servicio específico está en función del manejo de la tierra (agroforestería versus agricultura convencional) y del contexto del paisaje. El grado de pendiente, tipo de suelo y posición topográfica afectará la erosión del suelo, mientras que la ubicación, tamaño y forma de la finca en relación a la vegetación adyacente determinará el valor de conservación. Los esquemas de PSE actuales no tienen un componente espacialmente explícito y por lo tanto todos los productores son elegibles para el pago a pesar de la ubicación de la finca y su habilidad actual de proveer el Servicio en cuestión. Con fondos limitados para los PSE, la identificación de los puntos calientes (hotspots) para los SE puede ayudar a encontrar las fincas donde se puede obtener la mayor cantidad de SE por dólar invertido. En el presente trabajo se modelaron los puntos calientes para: a) conservación y conectividad de la biodiversidad y b) control de la erosión, en el Corredor Biológico Volcánica Central Talamanca (CVBCT) en Costa Rica, para direccionar los PSE a las fincas donde la oferta de esos SE se necesita críticamente. Para identificar los puntos calientes de conservación se usaron modelos de conectividad funcional para tres especies de aves encontradas en el corredor (scarlet rumped tanager, yellow warbler and the ochre-bellied flycatcher) identificando vacíos críticos de hábitats para cada una de esas especies. Para la erosión, se usó la Ecuación Universal de Pérdida de Suelo Revisada (EUPSR) para identificar las áreas que dentro del corredor tienen una erosión potencial mayor. Finalmente, se calculó el valor de cada servicio provisto por los Sistemas Agroforestales de Café. Para que los esquemas de PSE continúen siendo exitosos, deben demostrar que el servicio por el que se está pagando es el área donde realmente se está ofreciendo. Con el presente trabajo se demostró que una priorización espacial con la modelación de la oferta de los SE es el primer paso para identificar donde esos SE son más necesarios, es decir, donde las intervenciones agroforestales tendrán un mayor impacto y donde los pagos deben ser hechos.

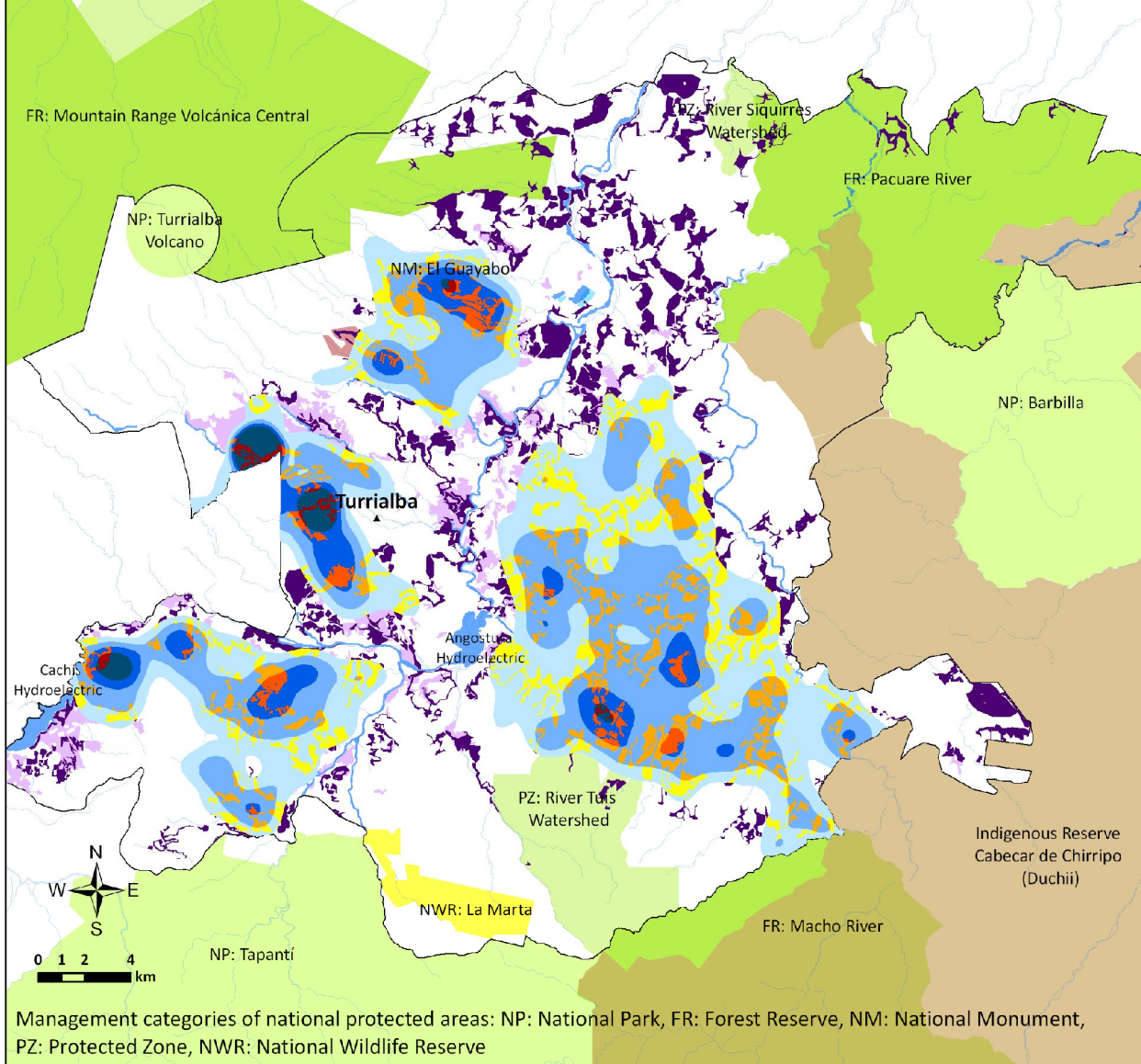
Estrada N. 2009. Identifying Ecosystem Services priorities areas for targeting payments schemes (PES), Costa Rica. Tesis Mag Sc., CATIE, Turrialba, Costa Rica. 95p.

Key words: Ecosystem services, GIS, control erosion, functional connectivity, PES

ABSTRACT

Payments of ecosystem services (PES) have generated much excitement by conservation and production organizations because of their potential to simultaneously protect biodiversity and improve farmer livelihoods. The capacity of a farm to provide specific services is a function of land management (agroforestry versus conventional agriculture) and the landscape context. The degree of slope, soil type, and topographic position will affect soil erosion functions whereas the location, size, and shape of the farm in relation to adjacent natural vegetation will determine conservation value. Current PES schemes are not spatially explicit and all farmers are eligible for payment regardless of where their farm is located, and its actual ability to provide the service in question. With limited funding for PES schemes, identifying ecosystem service hotspots can help target farm where the greatest service per dollar can be obtained. We model conservation and erosion hotspots in the Volcan Central Talamanca Biological Corridor to target PES schemes on farms where the services are critically needed. To identify the conservation hotspots we used models of functional connectivity for three species of bird found in the corridor (scarlet rumped tanager, yellow warbler and the ochre-bellied flycatcher) identifying critical gaps in the corridor for each of these species. For erosion, we used the Revised Universal Soil Loss Equation (RUSLE) to identify areas within the corridor where potential erosion is greatest. Finally, we calculated the value of each service provided by multistrata coffee agroforests. In order for PES schemes to continue to be successful, they must demonstrate that the service being paid for, is actually being provided. We demonstrate that spatially explicit modeling of the provisioning of such services is the first step in identifying where these services are most critically needed, where agroforestry interventions will have the greatest impact, and where payments should be made.

Ecosystem Services hotspots in the "Volcanica Central Talamanca" Biological Corridor - Costa Rica -



- Legend**
- Biological corridor
 - ▲ Town
 - ~ Drain
 - Water body
 - Areas offering ES
 - a) Control erosion
 - Too high
 - High
 - Moderate
 - Low
 - b) Connectivity
 - High
 - Moderate
 - a) and b)
 - Too high
 - High
 - Moderate
 - Low

Country: Costa Rica



Region: Central America



Índice de Figuras

Figura 1. Área de estudio, parte alta cuencas del río Reventazón y Pacuare, Corredor Biológico Volcánica Central Talamanca	9
Figura 2. Usos de la tierra en el año 1996 en la parte media y alta de las cuencas del río Pacuare y Reventazón.....	10
Figura 3. Distribución de los usos de la tierra en el año 1996 de las cuencas en estudio.....	10
Figura 4. Factores utilizados en el cálculo de la EUPSR, en las cuencas del río Reventazón y Pacuare con la extensión NSPECT.....	19
Figura 5. Erosión laminar potencial para las cuencas del Río Reventazón y Pacuare.....	22
Figura 6. Porcentaje de área y nivel de erosión para las cuencas del río Pacuare y Reventazón.....	22
Figura 7. Porcentaje del área por uso de la tierra con niveles de erosión moderada (10 – 50 ton/ha*año), severa (50 – 200 ton/ha*año) y muy severa (>200 ton/ha*año) para las cuencas evaluadas	23
Figura 8. Fotografías de los diferentes usos dentro del CBVCT.....	24
Figura 9. Prueba de Wilcoxon para muestras independientes.....	25
Figura 10. Sedimentos estimados por medio de la extensión NSPECT y sedimentos cuantificados por algunas estaciones del ICE.....	26
Figura 11. Distribución de las áreas de café en los rangos altitudinales del área de estudio	28
Figura 12. Distribución de las áreas de café en los rangos de precipitación promedio anual del área de estudio.....	29
Figura 13. Distribución de las áreas de café en los rangos de pendiente en grados del área de estudio.....	29
Figura 14. Capacidad de uso del suelo en el área de estudio.....	31
Figura 15. Distribución porcentual del área por usos de la tierra y por categoría de capacidad de uso del suelo de la cuenca del río Pacuare y del río Reventazón.....	32
Figura 16a-d. Cambio de área de café en el CBVCT	35
Figura 17. Priorización de áreas de café o puntos calientes (Hotspots) para la implementación de un PSA o proceso de Certificación.....	37
Figura 18. Área de estudio	49
Figura 19. Imagen y descripción de los requerimientos ambientales de las especies de aves <i>D. Pennsylvanica</i> , <i>M. Oleagineus</i> y <i>R. passerinii</i>	55

Figura 20. Variables que se utilizaron en la modelación de nichos ecológicos de las tres especies elegidas a) Elevación, b) Áreas de bosque 2007, c) Precipitación promedio mensual, d) Orientación de la pendiente, e) Zonas de vida, f) Temperatura promedio mensual, g) Pendiente en grados.	57
Figura 21. Nichos ecológicos potenciales delineados a partir de datos de todo Costa Rica y del CBVCT.....	66
Figura 22. Calificación del paisaje del CBVCT de acuerdo a su calidad de hábitat para cada una de las especies.....	67
Figura 23. Distribución porcentual de los uso de la tierra por especie de las áreas de los corredores delimitados.	69
Figura 24. Distribución porcentual de los usos de la tierra a las distancias de 100m, 250m, 500m y 750m del borde de las áreas de bosque	69
Figura 25. Delimitación de los parches funcionales y corredores para a) <i>R. Passerini</i> , b) <i>D. Pensylvanica</i> y c) <i>M. oleagineus</i>	70
Figura 26. Área y distribución de los usos para cada escenario de paisaje para la conectividad de la especie <i>M. oleagineus</i>	71
Figura 27. Comparación entre las rutas de conectividad estructural trazadas en el 2006 por Murrieta y los corredores de conectividad funcional identificados en el presente trabajo.....	72

Índice de Cuadros

Cuadro 1. Distribución de la pendiente en grados en las cuencas del río Reventazón y Pacuare	9
Cuadro 2. Valores del factor K para los distintos órdenes de suelo que se encuentran en el área de estudio	12
Cuadro 3. Valores del factor manejo y cobertura del suelo (factor C) para cada uso en diferentes investigaciones.	14
Cuadro 4. Algunas de las ecuaciones para el cálculo del factor R (Erosividad de la lluvia), reportadas para Costa Rica.....	15
Cuadro 5. Sedimentación estimada en las estaciones del ICE	18
Cuadro 6. Porcentaje que no cambia en la diagonal y porcentaje de cambio de área debajo de la diagonal.....	28
Cuadro 7. Descripción de las categorías de capacidad de uso del suelo	32
Cuadro 8. Porcentaje de áreas de protección dentro de las cuencaCategoría Manejo.....	33
Cuadro 9. Algunas métricas de paisaje del CBVCT.	50
Cuadro 10. Especies seleccionadas con sus requerimientos de hábitat.....	52
Cuadro 11. Datos del PMA demostrando la preferencia de hábitat de las tres especies elegidas por este estudio.	54
Cuadro 12. Registros a nivel nacional de las especies seleccionadas.	58
Cuadro 13. Clasificación de la calidad del hábitat para cada especie	60
Cuadro 14. Ecuaciones alométricas de rango de hogar y umbral de la calidad del hábitat.....	60
Cuadro 15. Clasificación estructura del parche para cada especie	61
Cuadro 16. Perturbaciones y dificultad de movilidad para cada especie.	62
Cuadro 17. Clasificación de la permeabilidad de los hábitats para cada especie	62
Cuadro 18. Cantidad, áreas totales y promedios de los diferentes escenarios para el <i>M. oleagineus</i> . ..	71

Lista de unidades, abreviaturas y siglas

CBVCT: Corredor Biológico Volcánica Central Talamanca

EUPSR: Ecuación Universal de Pérdida de Suelo Revisada

FAO: Organización de las Naciones Unidas para la agricultura y la alimentación

FONAFIFO: Fondo Nacional de Financiamiento Forestal

GIS: Geographic Information System

ha: hectáreas

ICAFFE: Instituto del Café de Costa Rica

ICE: Instituto Costarricense de Electricidad

Km: Kilometros

m.s.n.m.: metros sobre el nivel del mar

MAG: Ministerio de Agricultura y Ganaderia

MEA: Millenium Ecosystem Assesment

mm: milímetros

NSPECT: Nonpoint-Source Pollution and Erosion Comparison Tool

°C: grados centígrados

PMA: Programa de Monitoreo de Aves

PSA: Pago por Servicios Ambientales (nombre del instrumento económico en Costa Rica)

PSE: Pago por Servicios Ecosistémicos

RUSLE: Revised Universal Soil Loss Ecuation

SAF: Sistema Agroforestal

SIG: Sistemas de Información Geográfica

Ideas y Perspectivas

Modelos SIG para mejorar la provision y el pago de servicios ecosistemicos?

Las sociedades se enfrentan actualmente con el reto de desarrollar políticas y programas orientados tanto a la conservación y manejo sustentable de los recursos naturales como a un mejoramiento de la calidad de vida de las poblaciones rurales. Esto ha generado que instrumentos económicos como el Pago por Servicios Ecosistemicos (PSE) se hayan desarrollado. Este mecanismo busca compensar al productor por los servicios ecosistemicos que generan los ecosistemas naturales o seminaturales como los sistemas agroforestales. Costa Rica ha sido uno de los países pioneros en institucionalizar y definir las políticas públicas que ponen en marcha el programa de pagos desde el año 1996 con la ley forestal 7575. La financiación de estos pagos es generada a partir de los impuestos nacionales y de fondos internacionales. El nombre de este instrumento para Costa Rica es Pago por Servicios Ambientales – PSA¹.

Otro mecanismo a nivel mundial que busca compensar a los productores que tengan prácticas amigables con el ambiente es la certificación de los cultivos, con la cual generalmente se obtiene un pago diferenciado sobre el producto. Las diferentes certificaciones han sido creadas para transmitir información sobre el proceso de producción, así como sus impactos ambientales y sociales, a los consumidores con disponibilidad a pagar un mayor precio por una buena calidad del producto y por el cumplimiento con ciertos estándares ambientales y sociales (Heidkamp et al 2008).

Estos dos incentivos económicos de conservación y protección de los recursos naturales, han

demostrado ser en algunos casos opciones viables para alcanzar el mejoramiento de la calidad de vida de los productores y del ambiente. Sin embargo, en la más reciente revisión de diferentes casos de estudios de PSA a nivel mundial se identifica la creciente necesidad de direccionar mejor los pagos, de tal manera que tengan un mayor impacto y eficiencia, es decir, invertir en las áreas con el más alto potencial de impacto en la provisión de estos servicios ambientales (Porras et al 2008), especialmente cuando la provisión de los servicios evaluados son espacialmente explícitos (dependen de la pendiente, la forma de la finca, tipo de suelo, ubicación en el paisaje, entre otros). Esto significa el cambiar de pagos establecidos por área en general (dólares por hectárea sin considerar su ubicación) a pagos diferenciados que reflejen 1) el riesgo de pérdida de la provisión de estos servicios, 2) la ubicación geográfica del proveedor y 3) el costo de oportunidad por el cambio de actividades (Porras et al 2008). Con lo cual se garantiza que la inversión en conservación va a tener una mayor rentabilidad por dólar invertido.

Otros factores que están afectando el impacto de los PSA y la certificación son: 1) altos costos de transacción, 2) desconocimiento de la existencia de estos programas por los productores más aislados y 3) grandes exigencias en cuanto a la tenencia de la tierra (Robalino et al. 2008). Estos factores afectan y limitan la participación de las poblaciones más pobres, las cuales generalmente están formadas por pequeños productores localizados en las áreas más marginales y remotas; donde, paradójicamente, son frecuentemente las áreas que más servicios ambientales se generan (Wünscher et al 2006).

¹ El incentivo económico se reconoce como Pago por Servicios Ecosistemicos, sin embargo en Costa Rica se llama PSA, como se seguirá llamando en el documento.

- **Contexto e importancia**

El PSA en Costa Rica inicialmente estaba totalmente dirigido a la conservación y regeneración de bosques naturales, así como a la reforestación; sin embargo, los agroecosistemas, especialmente los sistemas agroforestales con un manejo sostenible, han sido posteriormente reconocidos como usos de suelo con potencial para generar servicios ambientales, incluyendo la conectividad entre áreas legalmente protegidas y los relictos de bosque, bajo el nuevo enfoque de corredores biológicos (Figura 1).

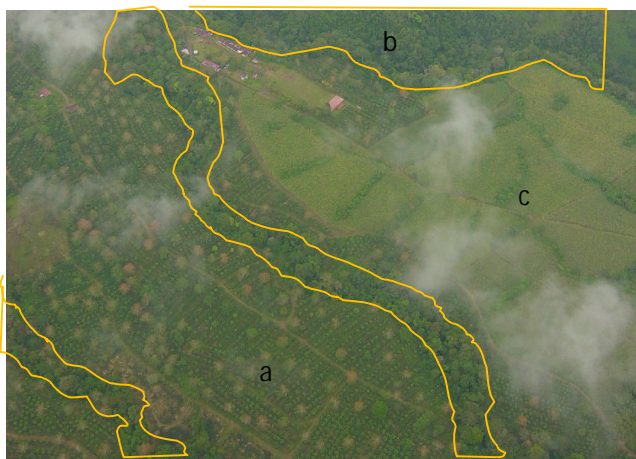


Figura 1. Aporte de los sistemas agroforestales (a: árboles en café y c: cercas vivas) a la conectividad de los bosques a nivel de paisaje (b: áreas en naranja)

Los sistemas agroforestales pueden proporcionar una oferta de servicios ambientales como: zona de amortiguamiento entre los monocultivos y las áreas protegidas (Moguel y Toledo 1999, Perfecto et al 1996), reducción de erosión, reducción de contaminación del agua por agroquímicos, reducción de la población de plagas (Perfecto et. al. 1996), importantes para aves migratorias, productos maderables y no maderables (Vaast et al, 2005), ciclaje de nutrientes, mantenimiento de la diversidad genética esencial para los cultivos y animales, retención de sedimentos, regulación de la composición gaseosa de la atmósfera y por tanto del clima (Swift et. al. 2004), refugio para especies polinizadores (Klein et al 2003), entre otros.

Para los agroecosistemas la cantidad, calidad y tipo de servicio está determinado básicamente por dos factores, el primero está relacionado con a) el tipo de manejo: Nivel y composición del estrato arbóreo (número de especies, tipo de especies, fenología, estructura copa, decidua o siempre verde, profundidad de raíces, entre otros); y b) la ubicación de los árboles en la parcela (dispersos la parcela, bosque ripario, protección fuentes, barreras rompe vientos, cercas vivas simples /complejas). El segundo factor está relacionado con el arreglo espacial de las fincas con PSA en el paisaje, no tiene el mismo efecto ambiental ni social una finca aislada o dispersas con PSA que un conglomerado de fincas (Goldman et al 2007).

- **Potencial pagos direccionados**

Un importante reto de los programas de PSA es la obtención de recursos económicos que garanticen el establecimiento y permanencia tanto espacial como temporal de los pagos y la provisión de los servicios pagados. La localización de las áreas (dentro de un país, región, cuenca, etc) más importantes en la provisión de servicios ambientales es una estrategia que puede facilitar la identificación de los ofertantes del servicio, y de igual manera se puede garantizar al demandante que el servicio por el que está pagando está siendo recibido. Otra ventaja, es que el demandante de los servicios puede seleccionar las fincas o las áreas donde la calidad y cantidad del servicio de su interés o el conjunto de servicios recibidos por dólar invertido es mayor.

Para identificar las áreas prioritarias en la oferta de SA se ha utilizado en gran medida la metodología multicriterio, sin embargo, la delimitación de las áreas es muy gruesa y corresponde a los criterios y el peso de las variables indicadoras seleccionadas por los investigadores, de igual manera se ha hecho mayor énfasis en priorizar áreas en ecosistemas naturales, dejando de lado el papel de los agroecosistemas. Con

el fin de generar propuestas metodológicas para afinar esta priorización e identificación de áreas importantes se cuantificaron en nuestra investigación específicamente dos servicios ambientales importantes para el área de estudio: 1) conectividad de una especie de ave indicadora de la conservación de la biodiversidad y 2) control de la erosión en el Corredor Biológico Volcánica Central Talamanca - CBVCT.

El primer servicio fue seleccionado porque los corredores biológicos tienen la principal funcionalidad de mejorar la conectividad de la biodiversidad a través de un agropaisaje entre diferentes áreas protegidas; para el caso del CBVCT se conectan 9 áreas silvestres protegidas y una reserva indígena, además que FONAFIFO considera a los corredores biológicos como áreas prioritarias para el PSA; de igual manera algunas certificadoras tienen mayor interés en conservación de especies dependientes de bosques como es el caso de Rainforest Alliance. El servicio ambiental control de la erosión, fue seleccionado debido a la alta importancia para el sector energético de Costa Rica de esta zona, ya que se encuentran las represas Angostura y Cachi del Instituto Costarricense de Electricidad (ICE); así como tres proyectos hidroeléctricos de iniciativa privada Tuis, Las Lajas y La Joya. El ICE actualmente realiza programas de conversión de tecnologías y cambio en las prácticas agropecuarias, con el fin de disminuir la erosión del suelo y, por ende, los sedimentos en las represas.

En la identificación de áreas críticas para la conservación se usó un modelo de conectividad funcional para el mosquetero aceitunado (*Mionectes oleagineus*), especie de ave dependiente de bosque común en el corredor. Esta modelación identifica los vacíos críticos de hábitat para la conectividad y permanencia de la especie. Para la erosión se utilizó la Ecuación Universal de Pérdida de Suelo Revisada (EUPSR -o RUSLE en inglés-) para identificar las áreas que presentan una erosión potencial mayor.

Finalmente, se evaluó el aporte de estos dos servicios por los sistemas agroforestales de café versus los otros usos del suelo.

Como resultado de la priorización de áreas por su importancia en la oferta de los servicios seleccionados, se identifica que un 36% del área total del corredor biológico son áreas estratégicas en la provisión de estos servicios evaluados. De estas áreas un 22% son importantes para la conectividad funcional dentro del corredor biológico (figura 2), un 62% son importantes para el servicio control y disminución de la erosión (figura 3) y un 16% son importantes para ambos servicios ambientales (figura 4). Dentro de estas áreas, actualmente predomina los usos de bosque con un 31% del área total priorizadas, después los pastos y pastos arbolados (28%), el café (23%) y los charrales y tacotales (8%).

Con delimitación de las áreas se permite focalizar las acciones de los actores involucrados en cuanto a: 1) la cantidad de áreas agropecuarias a mejorar o incentivar al establecimiento de sistemas agroforestales o agroecológicos, 2) identificación de las áreas de bosque a conservar o regenerar por su importancia en la conectividad y 3) establecer un mejor precio del PSA acorde al costo de oportunidad de cada zona y cultivo, así como al valor de la inversión para mejorar las prácticas.

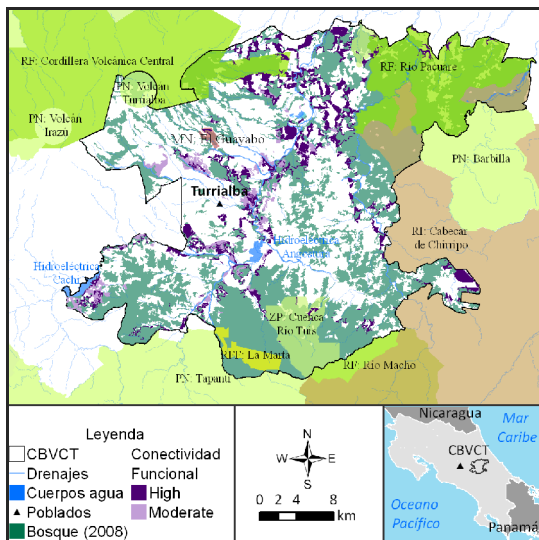


Figura 2: áreas importantes para la conectividad del mosaico de paisajes. Nota: Categorías de manejo de las áreas protegidas: PN: Parque Nacional, RF: Reserva Forestal, MN: Monumento Nacional, ZP: Zona Protectora, RNVS: Reserva Nacional de Vida Silvestre

además de desarrollar estrategias con actores locales o de asociación que permitan una disminución del costo de transacción.

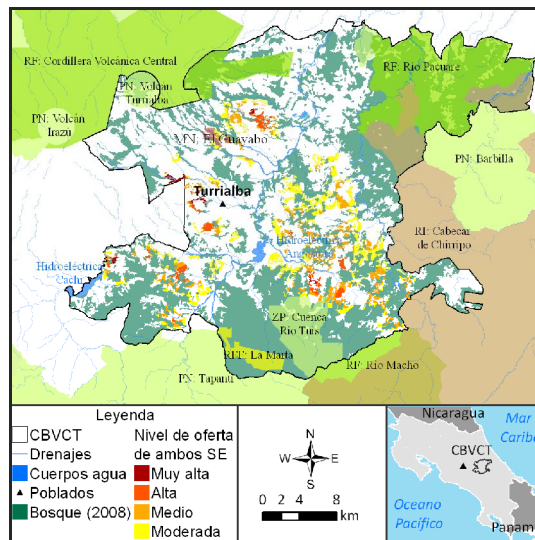


Figura 4: áreas importantes para la provisión de los dos servicios evaluados

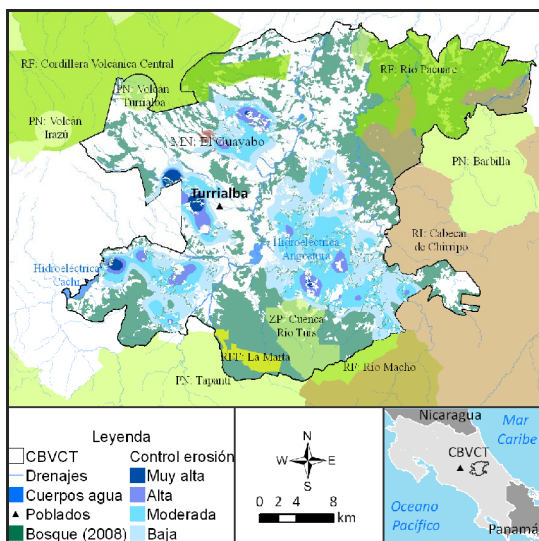


Figura 3. Vulnerabilidad de erosión dentro del CBVCT

La delimitación de las áreas prioritarias puede facilitar la toma de decisiones sobre cómo distribuir el presupuesto y donde localizarlo, de tal manera que se garantice una inversión donde es más urgente para realmente garantizar el servicio demandado. Finalmente este proceso puede facilitar y permitir el acceso de pequeños productores al esquema, ya que pueden tener mejor información e interés en participar en los pagos,

• Recomendaciones para el PSA

Con el presente trabajo se evidencia que las recomendaciones de varios investigadores para el mejoramiento principalmente de los PSA y de la certificación en cuanto a: 1) Priorización de áreas para el pago de acuerdo el riesgo de pérdida en la provisión de servicios y al nivel de oferta, 2) Facilitar el acceso a los productores de escasos recursos y con problemas de tenencia de la tierra y 3) Dar más importancia a los sistemas agroforestales como intervenciones con potencial oferta de servicios ambientales, puede ser alcanzadas a través de herramientas de SIG sencillas y robustas. De igual manera esta priorización de áreas facilitara otra de las recomendaciones mencionadas: 4) Diferenciación de precios de acuerdo al costo de oportunidad de la segunda opción de uso de la tierra y/o el valor de la inversión para la adopción de prácticas de manejo sostenibles.

Al incluir estas recomendaciones, se puede mejorar de igual manera la estrategia de monitoreo sobre las áreas beneficiadas con pagos y

complementar esfuerzos de conservación al largo plazo con otras iniciativas de desarrollo.

• Conclusiones

- La inversión actual y el reconocimiento con PSA a los agropaisajes puede ser más eficiente si se localiza en las zonas priorizadas y donde estos cumplen un papel importante a nivel de paisaje.
- La calidad y cantidad de la oferta de los sistemas agroforestales depende en gran medida del nivel y composición del estrato arbóreo y la distribución de los árboles a nivel de finca, factores que pueden variar dependiendo del SE ofertado.
- La localización de bosques o áreas de regeneración estratégicas asociados a varios servicios ecosistémicos hará más eficiente la inversión a través del PSA para lograr sus metas de conservación y protección.
- Este direccionamiento de la inversión en áreas estratégicas, dará más seguridad a los demandantes actuales de estos servicios y a los demandantes potenciales para que continúen o comiencen a invertir en el esquema de pagos.
- Estas “regiones o zonas” prioritarias de pagos pueden servir de plataforma para otros programas de capacitación, legalización de la tenencia, ecoturismo entre otros. De igual manera, estas áreas se pueden articular con los procesos de certificación para garantizar el acceso al mercado a los productos con PSA, posterior a la finalización del pago.

• Bibliografía

- Antle J. M and Diagona B. 2003. Creating incentives for the adoption of sustainable agricultural practices in developing countries: The role of soil carbon sequestration. *American Journal of Agricultural Economics*, Vol. 85, No. 5, Proceedings Issue (Dec., 2003), pp. 1178-1184
- Goldman R. L., Thompson B. H., Daily C. 2007. Institutional incentives for managing the landscape: Inducing cooperation for the production of ecosystem services. *Ecological Economics* 64. 333 - 343.
- Heidkamp P, Hanink D y Cromley R. 2008. A land use model of the effects of eco-labeling in coffee markets. *Springer* 42: 725 – 746.
- ICAFE – Instituto del Café de Costa Rica, INEC - Instituto Nacional de Estadística y Censos. 2007. Censo Cafetalero: Turrialba y Coto Brus 2003, Valle Central y Valle Central Occidental 2004, y Pérez Zeledón, Tarrazú y Zona Norte 2006 Principales resultados. Costa Rica. Pp 328.
- Klein, A; Steffan-Dewenter, I; Tschardtke, T. 2003. Bee pollination and fruit set of *Coffea arabica* and *C. canephora* (Rubiaceae). *American Journal of Botany* 90 (1): 153-157
- Moguel, P; Toledo, V. 1999. Biodiversity conservation in traditional coffee systems of Mexico. *Conservation Biology* (13): 11-21
- Pagiola 2006. Payments for Environmental Services in Costa Rica. World Bank. MPRA. Paper nº 2010. Consultado en <http://mpr.ub.uni-muenchen.de/2010/>
- Perfecto, I; Rice, R; Greenberg, R; Van der Voort, M. 1996. Shade coffee: a disappearing refuge for biodiversity. *BioScience* 46 (8): 598-608
- Porras I; Grieg-Gran M., Neves N. 2008. All that glitters: A review of payments for watershed services in developing countries. *Natural Resource Issue No. 11. International Institute for Environment and Development. London, UK.*
- Robalino J., Pfaff A., Sánchez-Azofeifa G. A., Alpizar F., León C. y Rodríguez C. M. 2008. Deforestation impacts of environmental services payments: Costa Rica's PSA program 2000 – 2005. *Environment for Development. August. Consultado en: <http://www.rff.org/Publications/Pages/PublicationDetails.aspx?PublicationID=20559>*
- Swift, M.J.; Izac, A.-M.N.; van Noordwijk M. 2004. Biodiversity and ecosystem services in agricultural landscapes—are we asking the right questions?. *Agriculture, Ecosystems and Environment* 104 (2004). 113–134 pp.
- Vaast P., Beer J., Harvey C., Harmand J M, 2005. Environmental services of coffee agroforestry systems in Central America: a promising potential to improve the livelihoods of coffee farmers' communities. *In: 4th Henry A. Wallace/CATIE Inter-American Scientific Conference "Integrated Management of Environmental Services in Human-Dominated Tropical Landscapes"*, November 1-3, 2005. pp.35-39
- Wünscher T, Engel S y Wunder S. 2006. Payments for environmental services in Costa Rica: increasing efficiency through spatial differentiation. *Quarterly Journal of International Agriculture*

Artículo de investigación I

Identificación de áreas prioritarias de café por la oferta del servicio ambiental: control y disminución de la erosión en el Corredor Biológico Volcánica Central Talamanca - CBVCT.

1. Introducción

Cerca del 40 % de las tierras agrícolas han sido degradadas en los últimos 50 años por erosión, salinización, compactación, pérdida de nutrientes, contaminación y urbanización (MEA, 2005); para el caso de Costa Rica el 42 % del área agrícola presenta problemas de erosión hídrica entre moderada y muy severa (FAO, 1989a); llegando a considerar el MAG y la FAO (Berstch, 1996) a la erosión hídrica como uno de los principales factores de degradación de los recursos naturales. Esta erosión, específicamente es el resultado del conjunto de factores naturales como la pluviosidad, la geografía y las condiciones tectónicas; y de un conjunto de factores antrópicos como la falta de planificación del uso de la tierra con una adecuada tecnología (Marchamalo, 2004).

Dentro de la erosión hídrica se encuentra la erosión laminar la cual está directamente relacionada con el efecto de la fuerza de las gotas de lluvia. Algunos autores como Gómez (2002) y Marchamalo et al (2007) han estimado para algunas cuencas en Costa Rica que este tipo de erosión corresponde aproximadamente al 80% del total de sedimentos medidos por una estación. El otro 20% esta generado por otros tipos de erosiones como los movimientos en masa, deslizamientos e inclusive actividades humanas como la minería. La metodología más utilizada para cuantificar este tipo de erosión es la Ecuación Universal de Pérdida de Suelo Revisada (RUSLE en sus siglas en ingles). Este modelo empírico fue desarrollado por Wischmeier et al (1978), usando datos relacionados con escurrimiento superficial y registros de pérdida de suelos, además de información proveniente de simulación de lluvia (Gomez, 2002). Autores como Gómez (2002), Saborio (1996 y 2000) y Marchámalo (2004), han aplicado esta ecuación para cuantificar la erosión hídrica en varias cuencas de Costa Rica y Guatemala con buenos resultados.

En el presente trabajo se hace énfasis en el cultivo del café principalmente porque para el caso de Costa Rica este cultivo, se ha caracterizado por ser manejado en sistemas agroforestales (SAF) los cuales representan el 80% del área cafetalera (ICAFE, 2007); estos SAF son vistos como un complemento a los sistemas naturales y están siendo utilizados para el diseño de paisajes en la implementación de estrategias de conservación de la biodiversidad (Schroth et ál., 2004). Además de los Servicios

Ambientales que estos ofrecen como: zona de amortiguamiento entre los monocultivos y las áreas protegidas (Ugalde 1988), reducción de erosión, reducción de contaminación del agua por agroquímicos, reducción de la población de plagas (Perfecto et. Al. 1966, Somarriba et. al. 2004, Pérez Nieto et. al. 2005, Varón 2006), importantes para aves migratorias, productos maderables y no maderables (Vasquez et al 2005), ciclaje de nutrientes, mantenimiento de la diversidad genética esencial para los cultivos y animales, retención de sedimentos, regulación de la composición gaseosa de la atmósfera y por tanto del clima (Swift et. Al. 2004).

La finalidad de este trabajo es la cuantificación de la erosión laminar y la localización de aquellas áreas más vulnerables y prioritarias para la conservación del suelo dentro del marco legal vigente de Costa Rica, de tal manera que al invertir por medio de un pago por servicio ambiental, proceso de certificación o acción en cambios tecnológicos se logre maximizar esta inversión; además de reducir la erosión y sus efectos secundarios tanto a nivel de finca cafetalera como a nivel de paisaje. La modelación de la erosión laminar se hará por medio de los sistemas de información geográfica haciendo uso del software ArcGIS 9.1 extensión NSPECT

2. Área de estudio

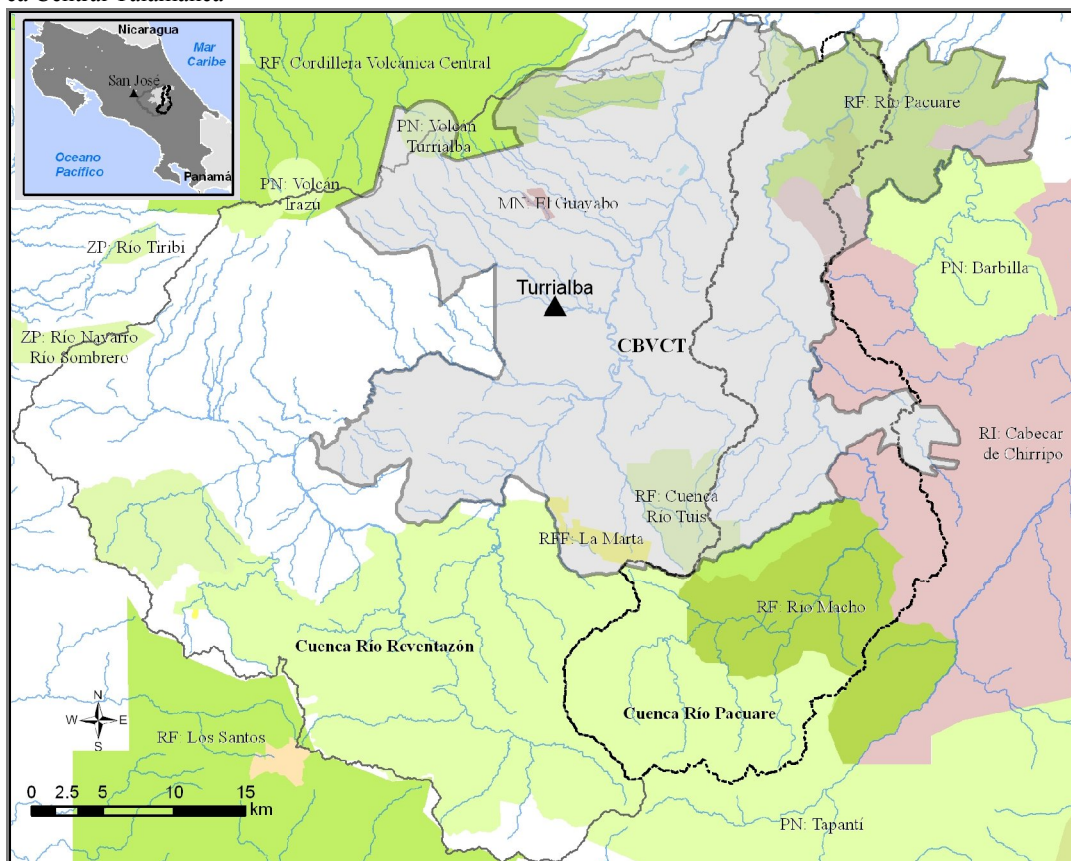
El presente estudio se llevará a cabo en el paisaje de las partes altas y medias de las cuencas del río Reventazón y Pacuare para la estimación de la erosión laminar, lo cual permitirá la comparación de los valores de erosión modelados con los valores de las estaciones de sedimentación de dichas cuencas. La selección de las cuencas fue de acuerdo a la zona de coincidencia con el Corredor Biológico Volcánica Central Talamanca (CBVCT), donde finalmente se hará la priorización de las áreas debido a su importancia en la oferta de SA y a la identificación de los corredores por parte del Fondo Nacional de Financiamiento Forestal –FONAFIFO como áreas prioritarias para los PSA. Este corredor tiene un área de 114.617 ha y fue constituido por su importancia en la conectividad entre 9 áreas protegidas y una reserva indígena (Figura 1).

El área de las cuencas de los ríos Pacuare y Reventazón abarca unas 240,834 ha, las cuales van desde los 70 m.s.n.m. en la parte más baja del río Pacuare, hasta los 3,470 m.s.n.m. en el nacimiento del río Reventazón. La precipitación mínima es de 1,498 mm y la máxima alcanza unos 6,898 mm promedio anuales, una gran proporción de las cuencas tiene estas altas precipitaciones lo cual se ve reflejado en la predominancia de las zonas de vida pluvial (Cuadro 1). En relación a la temperatura, reporta como mínima 7°C y como máxima 26°C. En estas cuencas predomina el bosque con 48% del área, el café ocupa un 18% y el pasto el 13% para el año 1996.

Cuadro 1. Distribución porcentual de las zonas de vida dentro de las cuencas en estudio.

Zona de vida	% Área
Bosque muy húmedo Montano	1
Bosque húmedo Tropical transición a Premontano	1
Bosque muy húmedo Tropical	1
Bosque muy húmedo Premontano transición a pluvial	2
Bosque húmedo Montano Bajo	5
Bosque muy húmedo Tropical transición a Premontano	6
Bosque húmedo Premontano	7
Bosque muy húmedo Montano Bajo	7
Bosque pluvial Montano	10
Bosque pluvial Premontano	13
Bosque pluvial Montano Bajo	22
Bosque muy húmedo Premontano	25

Figura 1. Área de estudio, parte alta cuencas del río Reventazón y Pacuare, Corredor Biológico Volcánica Central Talamanca



Nota: Las áreas protegidas del área de estudio son: PN: Parque Nacional, RF: Reserva Forestal, MN: Monumento Nacional, RI: Reserva Indígena, RB: Reserva Biológica, ZP: Zona Protectora.

Cuadro 1. Distribución de la pendiente en grados en las cuencas del río Reventazón y Pacuare

Pendiente (grados)	% Área
< 10	26
10 - 20	32
20 - 30	26
30 - 40	13
40 - 50	3

Estas cuencas son importantes para el sector energético de Costa Rica, ya que en ellas se encuentran las represas Angostura y Cachi del Instituto Costarricense de Electricidad (ICE); así como tres proyectos hidroeléctricos de iniciativa privada Tuis, Las Lajas y La Joya. Estas instituciones, especialmente el ICE, adelantan actualmente programas de conversión de tecnologías y cambio en las prácticas agropecuarias, con el fin de disminuir la erosión del suelo y, por ende, los sedimentos en las represas. En las cuencas hay una pendiente promedio de 20 grados (o 36 por ciento de pendiente) (Cuadro 1).

Figura 2. Usos de la tierra en el año 1996 en la parte media y alta de las cuencas del río Pacuare y Reventazón.

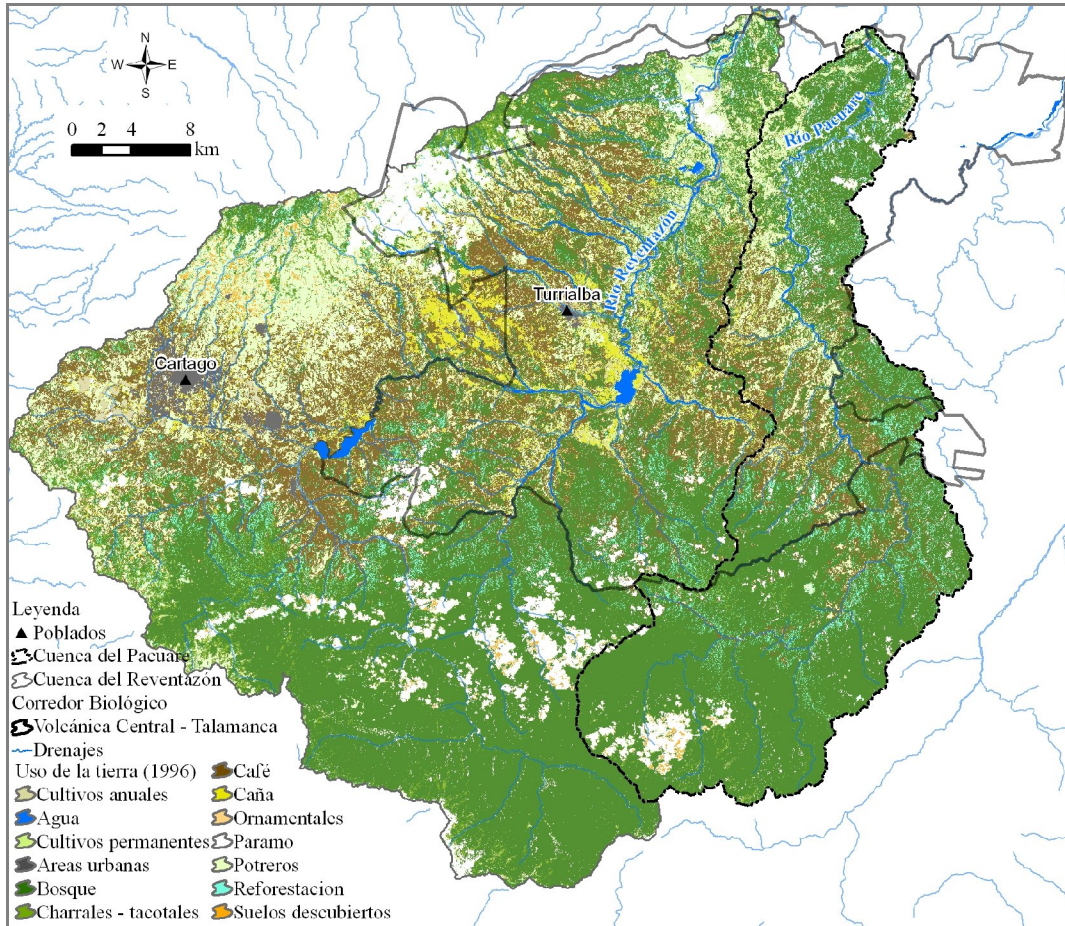
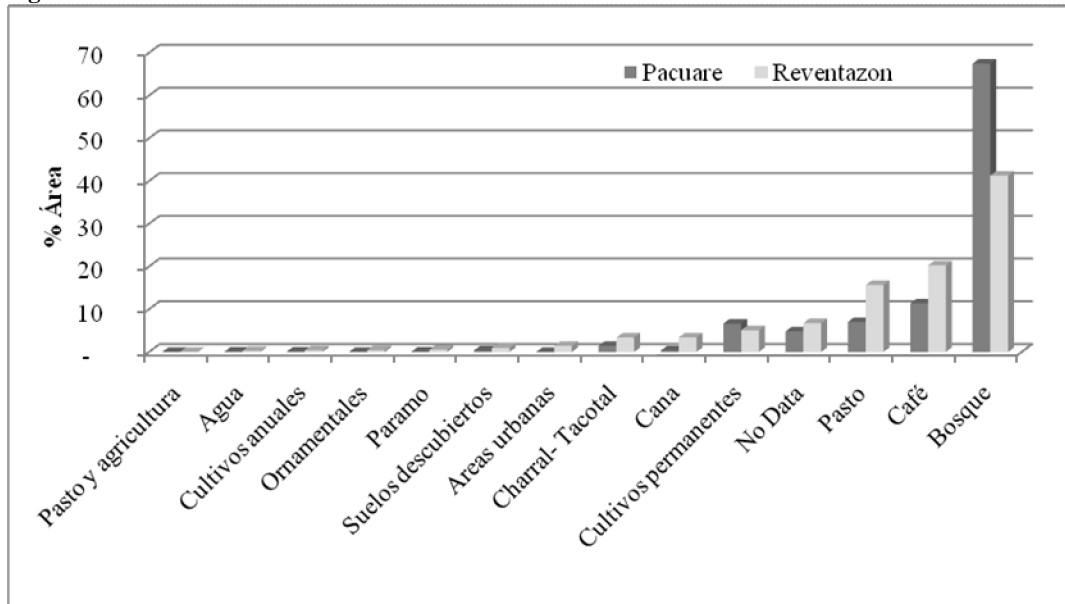


Figura 3. Distribución de los usos de la tierra en el año 1996 de las cuencas en estudio.



3. Marco Teórico

3.1. Ecuación Universal de Pérdida de Suelo Revisada (EUPSR)

Esta ecuación a cual es una regresión lineal simple desarrollada a partir de la información de 8.250 parcelas experimentales, en terrenos dedicados a agricultura en 23 estados de E.E.U.U (Wischmeier et al 1978). La EUPSR ha sido utilizada en el trópico por varios autores como Noia (1997), Cervantes y Vaharson (1992), los cuales indican que las estimaciones son muy superiores a los promedios medidos en las parcelas en campo, sin embargo esta situación como Gómez (2002) lo reporta se presenta debido a ciertos factores inherentes al diseño experimental original de la ecuación y a las condiciones geográficas donde fue originada; es por este motivo, que en 1985 se reunieron investigadores para revisar esta ecuación, dando como resultado la EUPSR (Revised Universal Soil Loss Equation), la cual conserva la misma estructura de la USLE, pero los cambios significativos están en los algoritmos y herramientas computarizadas usadas para calcular cada uno de los factores que componen esta ecuación (Renard et. Al, 1997).

La EUPSR en su forma tradicional está dada por la siguiente ecuación (Wischmeier and Smith, 1978), donde cada uno de sus factores será explicado posteriormente:

$$A = K * C * R * L * S * P$$

Donde:

A: pérdida de suelo por unidad de área (ton/ha*año)

K: Erosividad del suelo (ton*ha*hr/ha*MJ*mm)

C: Cobertura (factor adimensional)

R: Erosividad de las lluvias (MJ*mm/ha*hora*año)

P: Practicas de manejo (factor adimensional)

L: Longitud de la pendiente

S: Pendiente

A pesar de la sencillez de esta ecuación y fácil aplicabilidad, ha sido muy criticada por sus altos valores y resultados al estimar la erosión laminar especialmente en el zonas del trópico, sin embargo autores como Saborio (1996) consideran que este modelo debe comprenderse como cualitativo más que cuantitativo. Su comparación con otros mapas de erosión a nivel preliminar aunque resulta en valores en exceso, tiene coincidencia en las áreas consideradas que aportan mayor erosión laminar. Gómez (2002) comenta que esta ecuación se caracteriza por su simplicidad de aplicación y es una herramienta útil para planificar el mejor uso posible del suelo, para seleccionar sistemas de cultivo y manejo y prácticas de conservación, estimar perdidas de suelo en áreas con uso de suelo diferente a la agricultura.

ra; lo que hace que la EUPSR sea muy útil para determinar las áreas críticas de producción potencial de sedimentos en forma cualitativa y aproximada. Esta ecuación ha sido usada tradicionalmente para la planificación y conservación a escala de finca (Van Remortel et al, 2001), y permite al mismo tiempo tener una visión a nivel de cuenca - paisaje.

Teniendo en cuenta lo mencionado y la validación por varios autores fue que se seleccionó en este trabajo el modelo de la EUPSR para identificar las zonas con mayores problemas de erosión laminar y finalmente estimar la cantidad de material originado en cada área. Se identificaron también algunas ventajas y desventajas de las herramientas más utilizadas para la estimación de esta erosión. A continuación se explica cómo se construyó cada uno de los factores con su respectiva definición básica.

3.1.1. Factor K: Erodabilidad del suelo

Este factor se refiere a la erodabilidad del suelo, es decir, define cuanto suelo se desprende según la cantidad de energía que le aplica una lluvia o una corriente de agua que ésta genera (Gómez, 2002). Wischmeier et al. definieron en 1971, que el factor está en función del porcentaje de limo y arena fina, del porcentaje de arena gruesa, de la estructura del suelo, de su permeabilidad, y del porcentaje de materia orgánica que posee.

Los valores del K para Costa Rica fueron tomados del trabajo llevado a cabo por la FAO (1989) y fueron asignados a la información cartográfica de unidades de suelos a nivel de orden del Atlas de Costa Rica (Ortiz y Masis, 2004) el cual fue digitalizado a partir del mapa de Unidades Bióticas de Costa Rica (1993) a una escala 1: 685.000.

Cuadro 2. Valores del factor K para los distintos órdenes de suelo que se encuentran en el área de estudio

Nombre	Factor K (Ton×Ha×hr / ×MJ×mm)	Nombre	Factor K (Ton×Ha×hr / ×MJ×mm)
Ciudad	0.015	Hydrandept	0.011
Distropept / Ustorthent	0.0165	Hydrudand	0.011
Dystrandept	0.019	Lago	0
Dystropept	0.016	Palehumult	0.012
Dystropept / Tropaquept	0.0205	Paleustult	0.009
Dystropept / Tropohumult	0.015	Pelludert	0.026
Eutropept	0.016	Pellustert	0.026
Hapludand	0.019	Tropaquept	0.025
Haplustalf	0.018	Tropaquept / tropaquent	0.024
Humitropept	0.017	Tropodult	0.016
		Tropofibríst	0.001
		Tropofluvent	0.025

Nombre	Factor K (Ton×Ha×hr / ×MJ×mm)	Nombre	Factor K (Ton×Ha×hr / ×MJ×mm)
Tropohumult	0.014	Ustorthent	0.017
Tropohumult / Tropofibril	0.0075	Ustorthent / Dystropept	0.0165
Tropopsamment	0.006	Ustropept	0.02
Troporthent	0.02	Utisol	0.019
Udivitrand	0.009	Vitrandept	0.009
Ustifluent	0.025	Fuente: FAO (1989)	
Ustipsamment	0.006		

3.1.2. Factor C, Manejo y cobertura del suelo

En la región, se encontraron diferentes investigaciones con varios valores asignados a iguales usos del suelo, es decir diferentes valores del factor C para el mismo uso. Los valores asignados por Gómez (2002), Marchamalo (2004), Saborio (1996) son más similares entre sí que los asignados por Burke and Sugg (2006) los cuales corresponden a categorías de usos más generales; los valores tomados en cuenta por cada autor se presentan en la Cuadro 4. La delimitación de las áreas productivas o de los usos de suelo fueron tomados de la clasificación realizada por Pedroni (2003) donde a partir de una imagen LANDSAT (1996) logró identificar 33 categorías de uso a una resolución de 28.5x 28.5 m. El factor C, como Gómez (2002) lo reporta, es adimensional y va desde 0.001 en bosque denso y de 1 en suelo desnudo. El valor de este factor es el resultado de la multiplicación de tres subfactores (cubierta de resguardo, cubierta de hojarasca, y cultivos) los cuales caracterizan y establecen el nivel de protección del suelo de las gotas de lluvias; aunque son subfactores complejos, Wischmeier y Smith (1978), crearon unas gráficas que facilitan la cuantificación cada subfactor:

- a) Factor de cubierta de resguardo o atenuación: construido a partir del porcentaje de obertura del dosel y la altura del dosel
- b) Efectos de una cubierta de hojarasca o vegetación densa en crecimiento, en contacto directo con la superficie del suelo: calificado a partir del porcentaje de cobertura de hojarasca o vegetación
- c) Cultivos y efectos residuales del uso de la tierra: se puede estimar con el porcentaje de densidad de raíces

En el presente trabajo se utilizaron los valores del factor C reportados por Gómez (2002), debido a que este utilizo en gran medida las categorías de uso de este trabajo y además esos valores fueron aplicados en la misma área de estudio con buenos resultados.

Cuadro 3. Valores del factor manejo y cobertura del suelo (factor C) para cada uso en diferentes investigaciones.

Usos	Gómez	Marchama-	Saborio 1996	Burke & Sugg	Homologación usos Pedroni con valores del factor C establecidos para otros usos en anteriores investigaciones					
	2002	lo 2004		2006	USOS					
	Factor C									
Áreas urbanas	0.003	0,015		0	Áreas urbanas					
Agua	0	0		0	Agua	Manglar				
Bosque	0.003	0,003	0.003	0.004	Bm.primario	B pantanoso (yolillo)				
Bosque natural	0.003			0.04	Bht primario					
Páramo	0.003				Paramo					
Bosque secundario	0.004			0.003	Bht secundario inicial	Bht secundario intermedio	Bht secundario Avanzado	Bm. secundario avanzado		
Bosque intervenido	0.005			0.014	Bht intervenido					
Charral	0.012	0,012	0.01	0.014						
Charral- Tacotal	0.012		0.008	0.014	Suc. prim. montana	Bm. secundario inicial	B. enano montano			
Pasto	0.013	0,013	0.01	0.05	Potreros					
Caña	0.05	0,050	0.34	0.24	Caña					
Pasto y agricultura	0.05			0.24	Agricultura mixta					
Otros perennes	0.08			0.24	Piña					
Café*	0.08	0,080	0.086	0.24	Café					
Cultivos permanentes	0.086		0.086	0.24	Árboles frutales	Palma africana	Pejibaye	Bambú	Banano	Reforestación
Ornamentales	0.2			0.24	Ornamentales	Sarán				
Cultivos anuales	0.65			0.24	Agricultura	Suelo agrícola arado				
Tierras misceláneas	1			0.7	Suelos descubiertos					

Nota: B:Bosque; Bht: Bosque húmedo tropical; Bm: Bosque montano; Suc prim: Sucesión primaria.

3.1.3. Factor R, Erosividad de la lluvia

Gómez (2002) reporta que la mejor manera de calcular el factor R, erosividad de la lluvia, es por medio del índice EI_{30} (energía-intensidad de tormentas), el cual es calculado a partir de las tormentas con capacidad erosiva. Estas tormentas con capacidad erosiva tienen valores superiores a 13 mm de precipitación y están separadas una de otra por lo menos 6 horas; con el fin de considerarlas eventos independientes. Este es uno de los cálculos complejos dentro de la ecuación ya que en muchos lugares no se cuenta con información suficiente para estimarla; sin embargo Gómez (2002) cuantificó este factor para la parte alta de la cuenca del río Reventazón, Sarapiquí y Pirrís con la información del ICE y con la aplicación Lluvias Erosivas construida con el Área de Apoyo Informático del C.S. Estudios Básicos del ICE. Para el caso de Costa Rica existen diversas ecuaciones y estimaciones de este factor (Cuadro 4). En el presente trabajo se consideraron los valores calculados por Gómez, ya que son los más actuales y están contruidos a partir de una serie de registros de las estaciones pluviométricas del ICE.

Cuadro 4. Algunas de las ecuaciones para el cálculo del factor R (Erosividad de la lluvia), reportadas para Costa Rica.

	USDA-ARS ajustada para Costa Rica (Lauretta Burke and Zachary Sugg)	Saborio (1996)
Ecuación	$R = 3786.6 + 1.5679 * (\text{Precipitación en mm}) - 1.9809 * (\text{Elevación en m})$	Factor $R = 0.143528 * P + 13.18021$
Unidades	R: $\text{MJ} * \text{mm} * \text{ha}^{-1} * \text{h}^{-1} * \text{y}^{-1}$	R: t-m/ha cm/h
Comentarios	Gómez (2001) comenta que no existe una relación entre la elevación y la erosividad de la lluvia, la cual fue probada por medio de una regresión lineal aplicada entre estos factores con una correlación del 1%.	Para $1,500\text{mm} \leq P \leq 6,500\text{mm}$ $r = 0.9747$ $r^2 = 0.95$

3.1.4. Factor P, método de control de erosión

El factor método de control de erosión o factor P, es adimensional y es la relación entre la pérdida de un suelo sometido a prácticas de control de erosión (por ejemplo siembra en contorno, en franjas o terraceo), y la pérdida que se daría con un laboreo y siembra a favor de pendiente (Gómez 2002). En el presente trabajo se asumirá este factor igual a la unidad debido a la falta de información a este nivel de detalle para el área de estudio.

3.1.5. Factor LS, longitud de la pendiente y pendiente

El factor LS está compuesto por la longitud de la pendiente y la pendiente; valores que inicialmente eran calculados con base en las ecuaciones brindadas por Wischmeier et al 1978 (las cuales fueron desarrolladas explícitamente para unas parcelas con una longitud promedio de 20.1 m y de 9% de pendiente); o por medio de estimaciones o cálculos con datos de campo. Sin embargo, el nivel de ajuste de los resultados en estudios donde predominan altas pendientes y grandes áreas es bajo (Van Remortel et al, 2004). El desarrollo de rutinas, algoritmos, ecuaciones y extensiones con base en los SIG ha permitido generar estimaciones más acordes con la realidad.

Por un largo periodo el factor LS ha sido uno de los más investigados (Foster & Wischmeier 1974, Wischmeier and Smith 1978, McCool et al. 1989, Moore and Wilson 1992, Govers 1991, Desmet and Govers 1996, Nearing 1997, Gertner et al. 2002, Lewis et al. 2005); para el cual se ha desarrollado diferentes procedimientos para calcular, especialmente el tipo de flujo y la longitud de la pendiente con base en los Modelos de Elevación Digital (Desmet and Govers 1996, Mitasova et al. 1995, Van Remortel et al. 2001). En los diferentes programas y extensiones desarrollados en la actualidad para aplicar la EUPSR, una de las diferencias es las ecuaciones y algoritmos utilizadas para estimar este factor. Para el caso de la extensión RUSLE² del software Idrisi, no solo considera los factores de la ecuación sino que se generan subunidades de paisaje con los criterios de pendiente y aspectos, establecidos por el usuario. Los cálculos son llevados a cabo con las ecuaciones señaladas en el Agricultural Handbook 703 (Renard et al. 1997)

Lewis et al. (2005) encontraron que los valores estimados a través de la extensión RUSLE (Idrisi) eran similares a los cuantificados en campo; además, que al comparar los valores dados por otra extensión llamada WATEM con los de la extensión RUSLE, el primero hacía estimaciones mayores de erosión lo que es posiblemente explicado con la incorporación en el WATEM del marco de la convergencia de flujos, lo cual incluye erosión “ephemeral gully”, una erosión que no está cuantificada dentro de la ecuación EUPSR.

En la extensión NSPECT³ del ArcGIS desarrollada por el NOAA⁴, lleva a cabo la estimación del factor LS con base en las ecuaciones y cálculos establecidas en las investigaciones de Renard et al (1997). Esta extensión fue utilizada por Burke y Sugg (2006) para: a) evaluar las descargas de sedimentos anuales (EUPSR), b) de acontecimientos específicos (MUSLE) y c) de contaminantes. Esta extensión, calcula el valor acumulado y el valor local, es decir, el la cantidad que llega al final del cauce y el valor potencial de erosión a cada pixel; los resultados de este estudio no fueron validados con datos de campo, sin embargo los autores comentan que los resultados están dentro de los límites razonables de estimaciones hechas en otras áreas. Lo importante de esta extensión es que trabaja con el AML script⁵ (Van Remortel et al 2004) el cual es el más actualizado para este cálculo de la pendiente y ha sido evaluado y probado por los mismos desarrolladores.

²Las siglas en inglés de la Ecuación Universal de Pérdida de Suelo Revisada – EUPSR, es RUSLE (Revised Universal Soil Loss Equation), en este documento se trabaja siempre con sus siglas en español excepto cuando corresponde al nombre de una extensión o herramienta.

³ NSPECT: Nonpoint Source Pollution and Erosion Comparison Tool

⁴ NOAA: National Oceanic and Atmospheric Administration <http://www.csc.noaa.gov/crs/cwq/nspect.html>

⁵AML Script: Arc Macro Language, se encuentra en: <http://www.onlinegeographer.com/slope/slope.html>

La otra herramienta para calcular el factor LS es la desarrollada por Desmet y Govers (1996), USLE2D⁶, la cual es gratuita y permite el cálculo por medio de diferente conceptualización de las rutas de flujo y de los diferentes algoritmos desarrollados para la longitud. Hoyos (2005), llevo a cabo el cálculo de este factor por medio de esta aplicación con la configuración multiflujo, el cual es considerado más apropiado para modelar el relieve de la cuenca; el algoritmo del factor LS fue la función “Nearing’s slope steepness” con la de Wischmeier and Smith, 1978. Esta selección se hizo porque esta ecuación fue desarrollada con datos empíricos de pendientes superiores a 55%; lo cual se ajusta a las características del relieve del área de este estudio (andes Colombianos) donde el 43% del área estaba en pendientes de 25 – 55% y el 13 por encima del 55%. Situación similar para la presente área de estudio donde el 56.6 % del área se encuentra en pendientes del 25 – 55% y el 26.8 % del área esta en pendientes superiores.

Haan et al. (1994) demostraron que al incrementar la pendiente y la longitud de la misma se pueden producir altas velocidades de flujo superficial y consecuentemente erosiones más altas, además de la pérdida de partículas de suelo de mayor diámetro las cuales son considerablemente más sensible a los cambios en las pendientes que a los cambios en la longitud (McCool et al, 1987). La importancia de calcular este factor de la manera más acorde a la topografía de la zona en estudio, permite tener mejores estimaciones de la EUPSR.

3.2. Ajuste de los valores estimados por el modelo con los valores medidos por las estaciones

La EUPSR está diseñada para estimar la erosión laminar potencial y por esto es necesario comparar y validar los datos modelados a través de un proceso de calibración con valores de la realidad como los medidos por las estaciones de sedimentos, de esta manera se puede identificar la cantidad real de sedimento que llegan al red hídrica después de pasar por áreas de depósitos o de barrera como la cobertura vegetal, la infiltración, la existencia de hondonadas, planicies, fosas naturales o artificiales; (Gomez, 2002). Para este proceso de calibración se cuenta con los datos de las estaciones del Instituto Costarricense de Electricidad - I.C.E.

El modelo NSPECT trabaja con un índice de entregas construido a partir del área de drenaje, la relación relieve – longitud y el numero de curva. La erosión potencial estimada es multiplicada por el factor del índice de entrega para realmente cuantificar la erosión real.

⁶ <http://www.kuleuven.be/geography/frg/modelling/erosion/usle2dhome/>

En el presente trabajo se cuenta con la información de sedimentos para ocho estaciones, dos en la cuenca del río Pacuare y seis en la cuenca del río Reventazón con un histórico desde aproximadamente la década de los 60. Esta información será utilizada para evaluar las diferencias entre la erosión estimada a partir de la extensión NSPECT y la erosión real de las estaciones del ICE.

Cuadro 5. Sedimentación estimada en las estaciones del ICE

Cuenca	Código Estación	Área ICE (ha)	t/ha*año
Cuenca Pacuare	8001	36,740.00	41.90
	8003	65,180.00	22.90
	9003	135,740.00	23.48
	9009	23,020.00	17.27
Cuenca Reventazón	9012	167,320.00	8.40
	9019	37,360.00	9.39
	9024	27,290.00	37.26
	9027	153,100.00	23.48

Fuente: Gomez 2002, ICE

4. Resultados

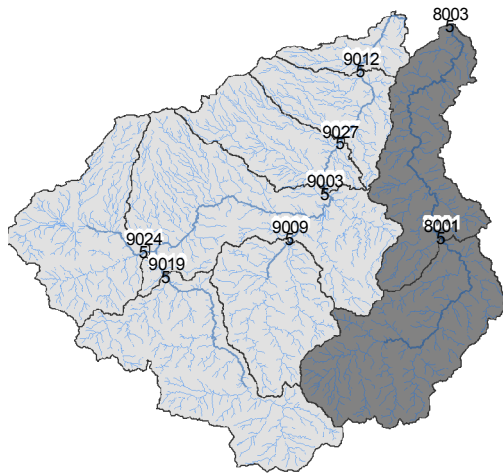
La modelación de la erosión laminar se llevó a cabo a nivel de cuenca, especialmente para la determinación correcta del factor de longitud de la pendiente y para una comparación entre los valores modelados y los reportados por las estaciones del ICE; posteriormente se hacen los análisis a nivel de las cuencas y corredor, diferenciando por tipo de uso del suelo y dando prioridad a las áreas de café.

4.1. Cálculo de la erosión con la extensión NSPECT

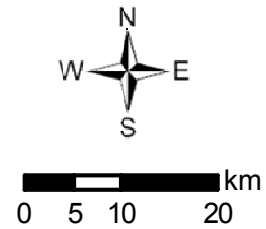
Para calcular la erosión con la herramienta NSPECT, se necesitan otros factores de insumo además de los básicos requeridos por la ecuación de la EUPSR, estos otros factores ayudan a una mejor calibración y ajuste de los resultados. Cada factor fue construido como se explicó en la descripción de la ecuación de la EUPSR.

Figura 4. Factores utilizados en el cálculo de la EUPSR, en las cuencas del río Reventazón y Pacuare con la extensión NSPECT.

a) Subcuencas y estaciones



Escala y norte de los mapas



b) Tipología de los suelos del area de estudio y factor de erosividad

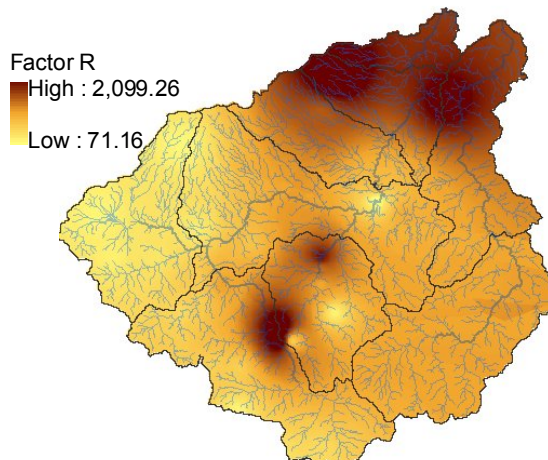


Tipología suelos
Gran grupo (factor K)

Dystrandept	(0.144267)
Eutropept	(0.121488)
Humitropept	(0.129081)
Hydrandept	(0.083523)
Cuerpo agua	(0.000000)
Ciudad	(0.113895)
Tropohumult	(0.106302)
Vitrandept	(0.068337)

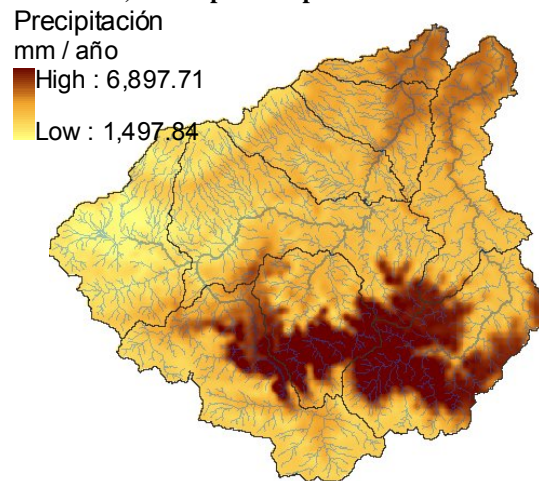
Unidades: (K: 100foot*tonf*inch/acre*hr*año)

c) Factor erosividad de la lluvia



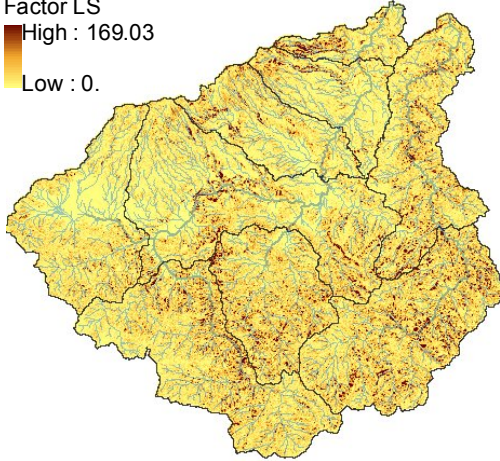
Unidades (R: ton*acre*hour/100acre*foot*tonf*inch)

d) Precipitación promedio anual



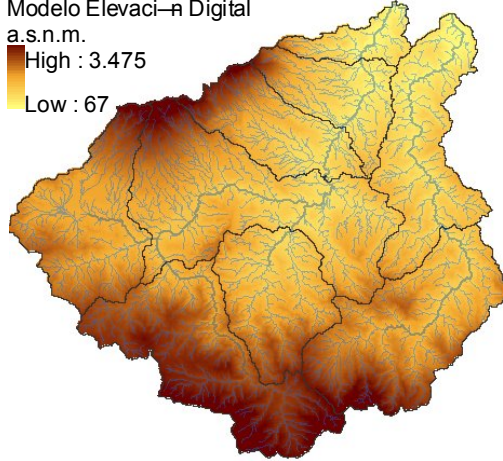
e) Factor Longitud de la pendiente

Factor LS
 High : 169.03
 Low : 0.



f) Modelo de elevación digital

Modelo Elevación Digital
 a.s.n.m.
 High : 3.475
 Low : 67



g) Usos de la tierra Pedroni (1996)



Usos de la tierra (1996)

- Agua
- Areas urbanas
- Bosque
- Café
- Caña
- Charral- Tacotal
- Cultivos anuales
- Cultivos permanentes
- Ornamentales
- Paramo
- Pasto
- Pasto y agricultura
- Suelos descubiertos

h) Factor de cobertura (C)

- Factor C
- 0
 - 0.003
 - 0.004
 - 0.005
 - 0.012
 - 0.013
 - 0.05
 - 0.08
 - 0.086
 - 0.2
 - 0.65
 - 1



Con la erosión laminar potencial cuantificada para las cuencas en estudio surge la pregunta sobre cuanto será la erosión máxima permisible o tolerable, de tal manera que sostenga un alto nivel de productividad, en el presente estudio se utilizará la clasificación hecha por la FAO (1980) donde determinan una erosión de 0 a 10 ton/ha*año como baja, de 10 a 50 ton/ha*año como moderada, de 50 a 200 severa y mayor a 200 una erosión muy severa.

La cuantificación de la erosión laminar a través de NSPECT identifica casi el 20 % del área en ambas cuencas con erosiones entre moderada a muy severa (Figura 6) proporción similar a la reportada por Gómez (2002) para la cuenca del río Reventazón el cual modelo la erosión con la herramienta CALSITE. Cuando se discrimina la erosión por usos de suelos, se identifica que del 100 % del área de café, aproximadamente un 25% se encuentra con erosiones entre moderadas y muy severas. Dentro de este 25 % del área el 8 % está en condiciones muy severas. En las áreas de pastos, el 15% se encuentra con erosiones entre moderadas y severas. Otros cultivos con alta proporción de áreas en erosiones entre moderadas y severas son reforestación, suelos descubiertos, cultivos permanentes, caña y agrícola; sin embargo son usos que no abarcan más del 4 % del área de estudio, mientras que el café abarca el 18% y el pasto el 13% (Figura 3).

Figura 5. Erosión laminar potencial para las cuencas del Río Reventazón y Pacuare.

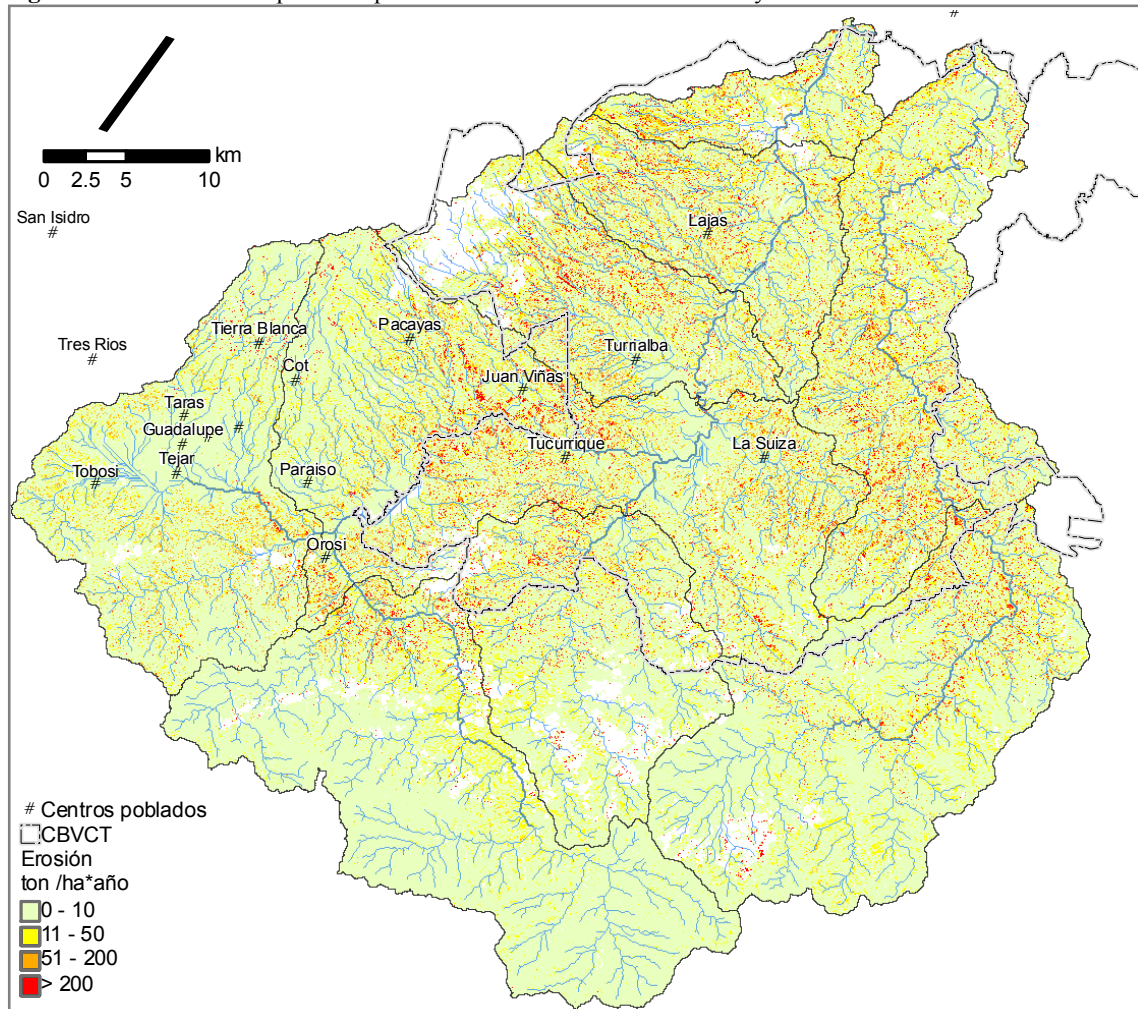


Figura 6. Porcentaje de área y nivel de erosión para las cuencas del río Pacuare y Reventazón.

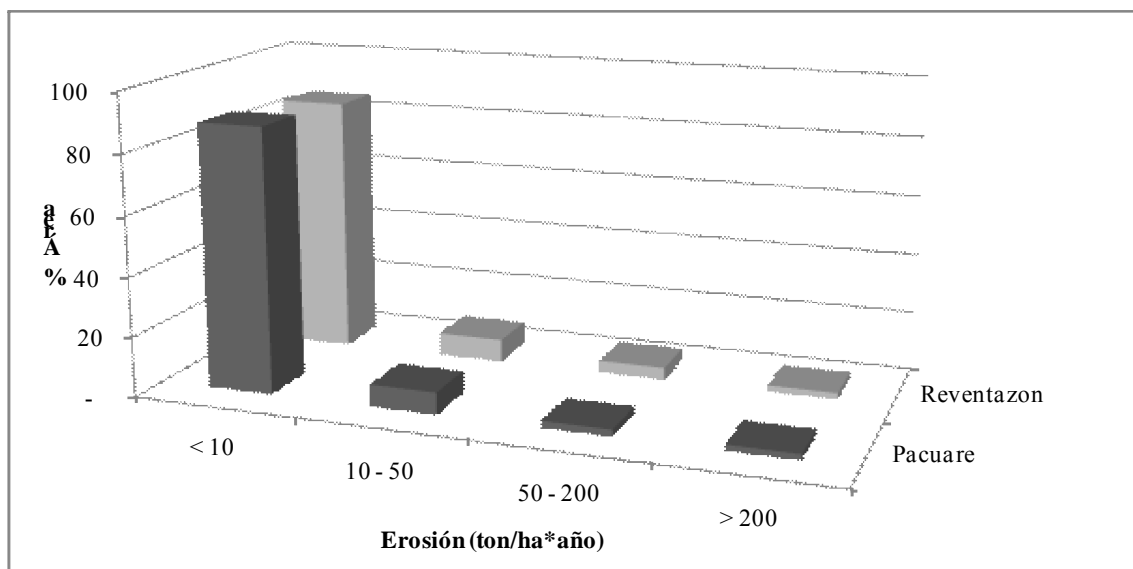
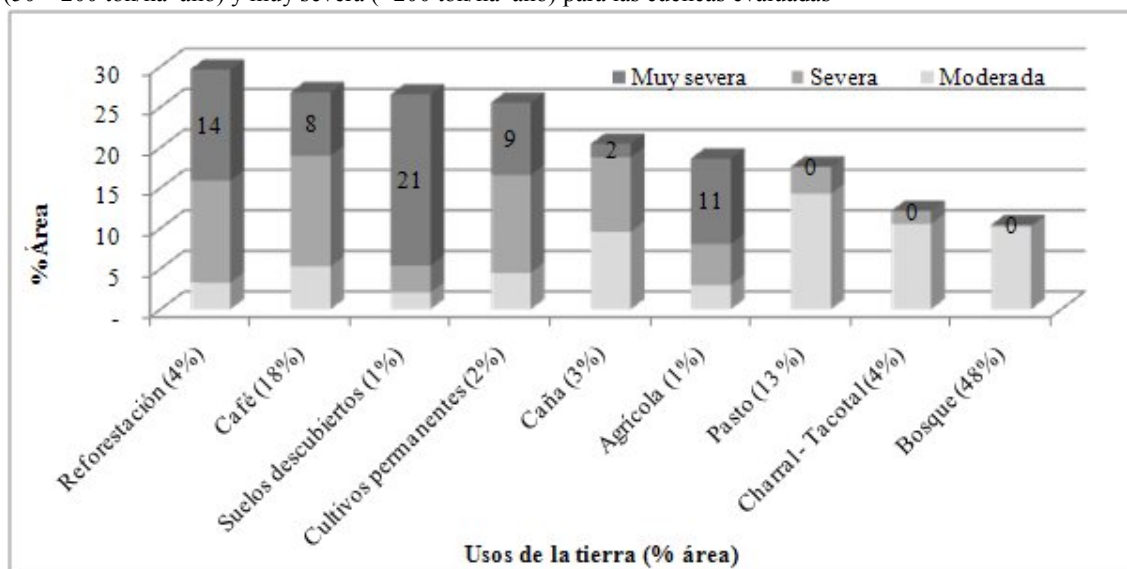


Figura 7. Porcentaje del área por uso de la tierra con niveles de erosión moderada (10 – 50 ton/ha*año), severa (50 – 200 ton/ha*año) y muy severa (>200 ton/ha*año) para las cuencas evaluadas



Para entender un poco mejor estos resultados, corroborar lo mencionado y complementar lo modelado, se llevó a cabo un sobrevuelo por el CBVCT a través del apoyo del PMA (Programa de Monitoreo de Aves) y la organización sin ánimo de lucro Lighthawk. En este sobrevuelo, se pudo evidenciar varios ítems importantes:

1. Los cultivos de café están asociados a una alta densidad vial, lo que genera grandes movimientos en masa, corrientes de lodo, etc. impactando fuertemente a nivel de paisaje (Figura 8a). Este tipo de erosiones no están cuantificadas por la EUPSR.
2. El cultivo de la caña (Figura 8b) es uno de los cultivos que menos erosión en categoría muy severa presenta, sin embargo es importante recalcar que el modelo de la EUPS es un modelo en donde se generalizan aspectos del cultivo y de la pluviosidad a nivel anual, perdiendo el efecto que se puede tener por ejemplo en época de quema y cosecha de la caña con altas lluvias, los cuales para el caso de Turrialba son cosechados por fortuna en época seca.
3. Los procesos erosivos son constantes y están asociados a todos los usos de la tierra, como se puede evidenciar en la Figura 8c, donde en un área de bosque de altas pendientes hay varios deslizamientos o movimientos en masa.
4. En las áreas de pasto (Figura 8d) aunque en la cuantificación de la erosión laminar presentan menos área en categorías severas, son áreas que aparentemente tienen alta recurrencia de procesos erosivos como deslizamientos en masa y cárcavas, procesos que no están cuantificados por la EUPS (Gómez, 2002).
5. Los SAF, evidentemente cumplen un papel diferente a nivel de paisaje, en la Figura 8e, se puede evidenciar como éstos tienen una cobertura o una estructura de dosel más compleja, protegiendo más el suelo al no dejarlo tan descubierto.

6. Los cultivos ornamentales (Figura 8f), tienen un mayor efecto a nivel de paisaje debido principalmente al alto nivel de manejo
7. Para el caso de Turrialba, los SAF de café y las cercas vivas con *Erythrina* spp dan valor agregado al paisaje, complementando los retiros de las ríos (Figura 8e)

Figura 8. Fotografías de los diferentes usos dentro del CBVCT

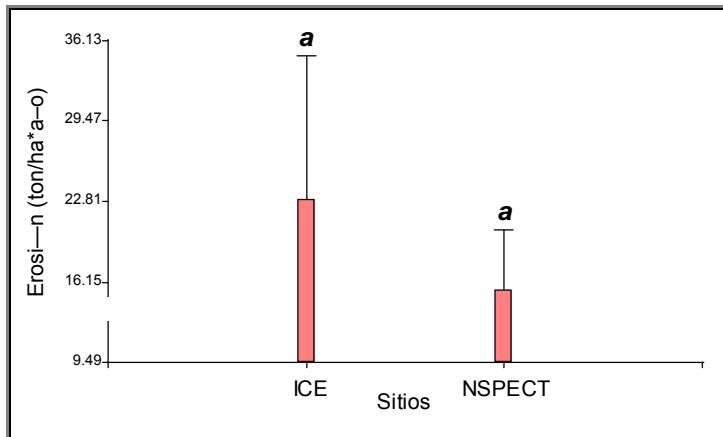


Fuente: Sobrevuelo área de estudio con el apoyo de la organización sin ánimo de lucro Lighthouse. Fotos: a, b, d, e y f Alejandra Martínez; e y c. – Fabrice DeClerck

4.2. Comparación de los valores estimados y reales

Con el fin de evaluar el ajuste de los valores de erosión cuantificados por medio de la extensión NSPECT, se utilizaron para la cuenca del río Reventazón los valores reales cuantificados por seis estaciones de sedimentación del ICE, y para la cuenca del río Pacuare se utilizaron 2 estaciones, los datos de ambas estaciones fueron los históricos desde aproximada los mediados de los 60 hasta 1996, año en el que fue tomada la imagen a partir de la cual se levantaron los usos del suelo. Esta comparación entre los datos reales y los datos estimados se llevó a cabo por medio de una prueba de dos colas de Wilcoxon (Mann-Whitney U), con la cual se puede inferir estadísticamente que no hay diferencias entre las dos tipos de mediciones de erosión ($W_8 = 84$; $p = 0.099$). La no diferencia es producto de la comparación de las medias, sin embargo hay mucha variabilidad en los datos del ICE, los cuales al comparar la varianza entre las dos mediciones se muestra que si hay diferencia significativa ($F = 141.75$; $p = 0.03$); esto nos confirma la alta variabilidad asociada a la dinámica de cada subcuenca. Al obtener valores dentro de los rangos esperados nos confirma que la EUPS cuando se aplica al trópico puede generar valores reales y no tan elevados como se ha reportado y a su vez que el modelo NSPECT es una buena herramienta para hacer esta estimación.

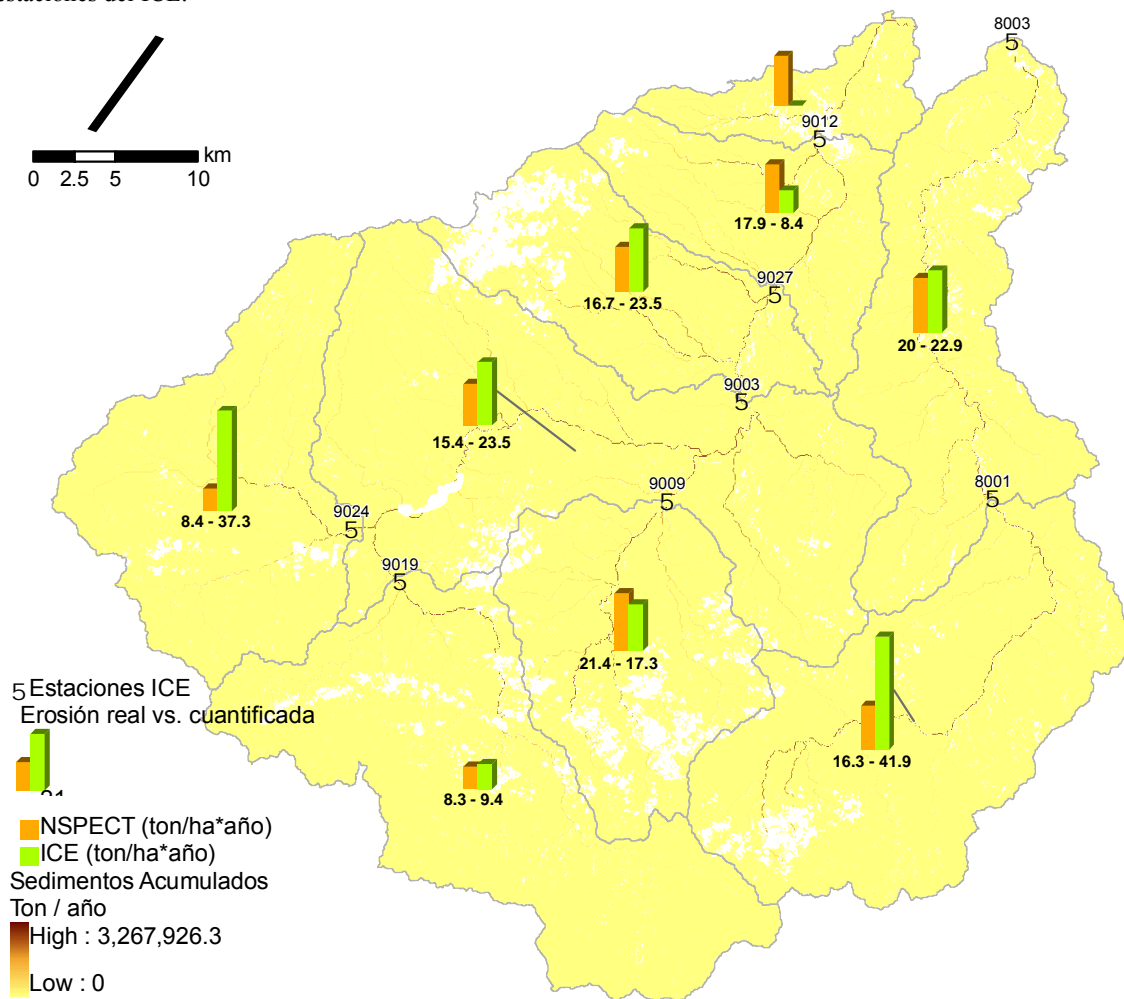
Figura 9. Prueba de Wilcoxon para muestras independientes



Se hace una análisis estadístico de comparación de medias, debido a que el valor reportado por el modelo NSPECT no puede ser igual al valor reportado por las estaciones, ya que estas están midiendo los sedimentos de los diversos tipos de erosión: surcos, cárcavas, corrientes de lodo y desprendimientos o deslizamientos, mientras que con la EUPS solo estamos cuantificando la erosión laminar. Otro factor importante que puede influenciar en la diferencia entre los sedimentos estimados y reales, es la calidad de los datos de las estaciones, ya que algunas pueden ser estaciones muy nuevas o que hayan tenido fallas en las mediciones por algún motivo técnico. En la Figura 10, se pueden evidenciar diferencias de

valores en mayor magnitud en las estaciones 9024, 8001, las cuales son áreas caracterizadas por movimientos en masa y otros tipos de erosión las cuales no son cuantificadas con la EUPSR. El Ing. del ICE señala que posiblemente para la estación 9024 el gran aporte de sedimentos proviene en gran proporción por deslizamientos como el de Banderillas y las sobre-explotaciones de material en el río Reventado (Parte alta Cartago). La ultima subcuenca de la cuenca del río Reventazón, tiene calculado sólo lo que corresponde al NSPECT, ya que en este punto no se encuentra una estación del ICE; el cierre de la cuenca a este nivel se hizo para coincidir al máximo entre ambas áreas de estudio, el Corredor Biológico Volcánica Central Talamanca y las cuencas.

Figura 10. Sedimentos estimados por medio de la extensión NSPECT y sedimentos cuantificados por algunas estaciones del ICE.



Nota: Los datos de las estaciones del ICE fueron extraídos de la tesis de Gómez (2002)

4.3. Modelación del cambio en la erosión variando el factor C para el cultivo del café

Una de las finalidades de este trabajo, es identificar la importancia y aporte de los sistemas agroforestales de café en el control de la erosión y a su vez, las áreas en las que si se inicia o promueve un cambio de prácticas (establecimiento SAF) a través PSA o de certificación, se logra la mayor disminución o control de la erosión en los cultivos de café, es decir, lograr localizar la inversión donde se optimice el instrumento económico. Para identificar dichas áreas, se están localizando inicialmente las áreas donde se presenta un mayor cambio o disminución de la erosión al modelar la EUPSR con un factor C de menor valor al establecido inicialmente. Al modelar con un factor C menor, se está asumiendo el efecto positivo en la conservación del suelo por parte de los árboles de un sistema agroforestal de café. Esta modelación se está llevando a cabo con una herramienta que tiene la extensión NSPECT la cual se llama “Management escenarios” y permite identificar los cambios en la erosión total y local cuando se cambian las practicas de manejo del cultivo.

Para modelar la disminución de la erosión se asumió el valor de 0.07 para el factor C, ya que es un valor intermedio entre los reportados por Afandi (sf) en su investigación en Lampung Indonesia, donde calculó para el cultivo de café en zonas montañosas (600 – 900 msnm) un factor C de 0.08 en parcelas de café intercaladas con *Paspalum conjugatum* y de 0.062 para parcelas de café con malezas. En este experimento se evidenció que la mezcla del café con el *Paspalum* redujo la escorrentía hasta cero después del tercer año de establecimiento y las áreas con malezas naturales llego a este nivel al cuarto año. Otros beneficios fueron evidenciados principalmente con el *Paspalum*, cómo un aumento en el C orgánico, oscurecimiento del horizonte A, una mayor estabilidad de los agregados, PH del suelo, N y P disponible, bases intercambiables. En otra investigación llevada a cabo en la misma área de estudio (Iijima et. al 2003) se evaluó el efecto de la labranza y de cultivos intercalados en parcelas de café durante cuatro años, donde encontraron que la erosión era reducida en un 37 % sin labranza, y en un 64 % con cultivos intercalados.

Modelando para un factor C de 0.07 en las áreas de café, se asume el efecto positivo en la erosión por la estructura radical de los árboles y la disminución de la velocidad en la caída de las gotas por el dosel, lo cual disminuye aproximadamente en un 15 % las áreas categorizadas con erosión modera, severa y muy severa (Cuadro 6). Hartemink (2006) afirma que la pérdida de suelo y la escorrentía es menor en las plantaciones de café con sombra que las sin sombra; igualmente Hoyos (2005) en su modelación para la región Andina de Colombia, establece de acuerdo a las diversas prácticas de manejo un valor menor para el factor C en el cultivo del café con sombra. Este valor asignado al factor C, como se mencionó es un estimado sin embargo no es un valor asociado a cierta cantidad de arboles en

el sistema agroforestal o a cierto tipo de sombra, sin embargo, nos permite identificar y modelar el efecto en la erosión a través del establecimiento de los SAF.

Cuadro 6. Porcentaje que no cambia en la diagonal y porcentaje de cambio de área debajo de la diagonal.

		Nivel Erosión con cambio en el factor C para el Café (0.07)			
Nivel Erosión Original (0.08)	(Ton/ha*año)	Baja (< 10)	Moderada (10 – 50)	Severa (50 – 200)	Muy severa (> 200)
	Baja (< 10)	100.0	-	-	-
Moderada (10 – 50)	0.4	99.6	-	-	-
Severa (50 – 200)	0.0	3.8	96.2	-	-
Muy severa (> 200)	0.0	0.0	10.6	89.4	-

Es importante tener en cuenta la distribución de las áreas de café dentro de la zona de estudio, de tal manera que se pueda comprender mejor donde se estarían realizando estas disminuciones. Las áreas de café dentro del área de estudio se encuentran en un 88% entre los 800 y los 1,600 m.s.n.m, donde el 27 % tiene una erosión superior a las 10 ton/ha*año (Figura 11). En cuanto a la distribución de precipitación el 75% área de café se encuentra entre los rangos de 2,400 a 3,300 mm; con una alta proporción del área (37%) a los 3,000mm donde el 28% se encuentra con erosiones entre moderadas a muy severas (

Figura 11. Distribución de las áreas de café en los rangos altitudinales del área de estudio

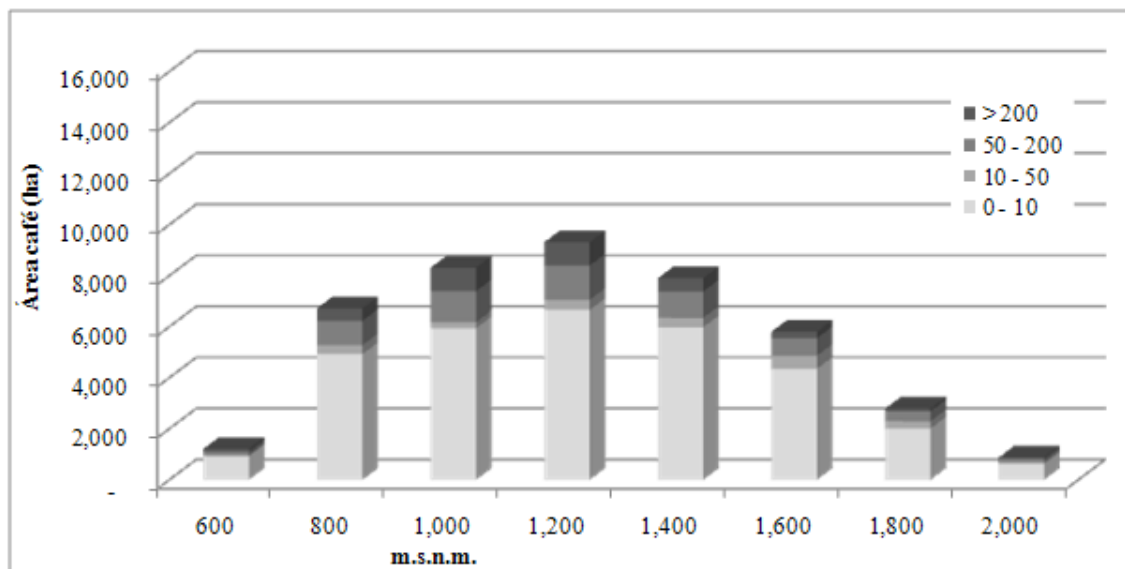
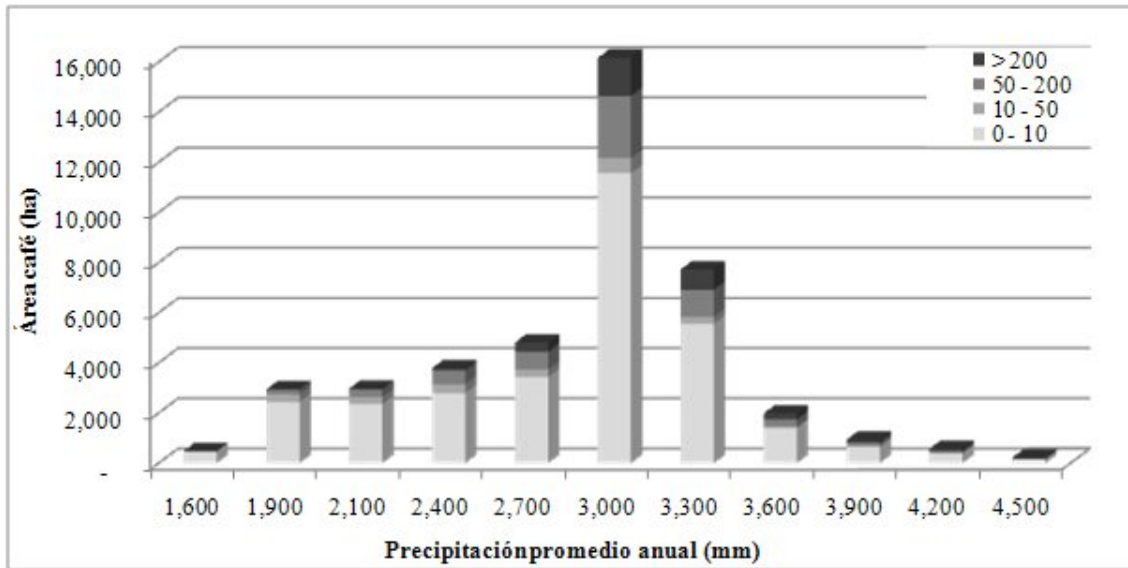
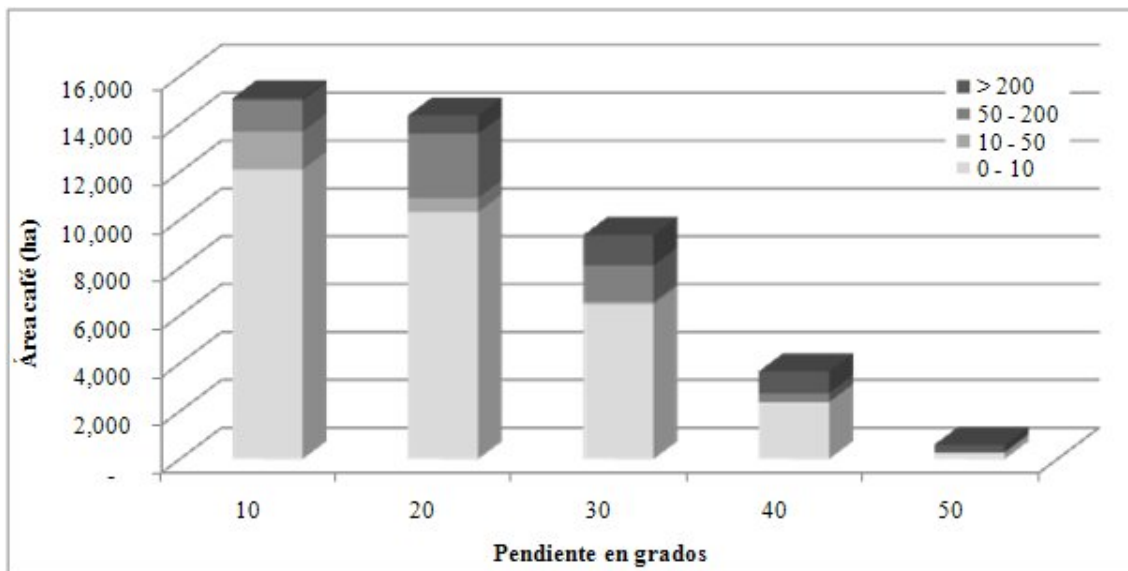


Figura 12. Distribución de las áreas de café en los rangos de precipitación promedio anual del área de estudio.



El 65% del área de café, se encuentra localizado en áreas con pendientes mayores a 10 grados, áreas en donde aproximadamente el 34 % en promedio se encuentra con erosiones entre moderadas y muy severas.

Figura 13. Distribución de las áreas de café en los rangos de pendiente en grados del área de estudio.



4.4. Identificación de áreas con restricciones de uso

Paralelamente a la identificación de las áreas de mayor nivel de erosión y por lo tanto las áreas prioritarias o potenciales para un Pago por Servicio Ambiental, se procedió a identificar el marco legal o institucional que por medio de la legislación, ha establecido ya esfuerzos de conservación de los recursos naturales y ha salvaguardado la oferta de dichos recursos. La idea de identificar estas áreas protegidas o restringidas legalmente, es la de evitar duplicidad de esfuerzos económicos, es decir, no incentivar la inversión privada para la protección o conservación de los recursos naturales, donde por iniciativa pública se está garantizando.

4.4.1. Capacidad de uso de las tierras

Teniendo en cuenta que la capacidad de uso del suelo debe ser integrada dentro del ordenamiento territorial de acuerdo a la ley orgánica del ambiente (Ley N° 7554), en la cual además se estipula en el artículo 53 que para proteger y aprovechar el suelo se debe considerar:

- La relación adecuada entre el uso potencial y la capacidad económica del suelo y el subsuelo.
- El control de prácticas que favorezcan la erosión y otras formas de degradación.
- Las prácticas u obras de conservación de suelos y aguas que prevengan el deterioro del suelo.

Como se define en la ley 7779 de Uso, Manejo y Conservación de Suelos, el Ministerio de Agricultura y Ganadería, en coordinación con el Ministerio del Ambiente y energía, serán los encargados del cumplimiento de las disposiciones de esa ley en las materias de manejo, conservación y recuperación de suelos, esta ley está reglamentada por el decreto N° 29375, donde se estipula en el artículo 49 que la identificación de las prácticas de manejo, conservación y recuperación de suelos se realizará con base en las limitaciones agroecológicas y socioeconómicas que causan la reducción de la productividad y la degradación de los suelos.

Con el fin de fomentar y establecer incentivos económicos que promuevan prácticas amigables con el ambiente en aquellas zonas donde realmente deben ser fomentadas, especialmente por las condiciones ambientales, geomorfológicas y geográficas, se tienen en cuenta y se priorizan las áreas de acuerdo a las capacidades de uso de la tierra, las cuales fueron creadas para Costa Rica por el decreto N° 23214 – MAG – MIRENEM a una escala 1:50,000.

La idea de vincular esta información es:

- Evitar duplicidad de esfuerzos e incentivos de iniciativa privada donde por iniciativa pública a través de la legislación nacional se garantiza la conservación y buen uso de los recursos naturales
- Evitar incentivar y fomentar prácticas agropecuarias en áreas que por condiciones agroecológicas, ambientales y legislativas no deben ser incentivadas.

La priorización se hace de acuerdo a las capacidades de uso de la tierra, por lo tanto es más importante fomentar acciones en las zonas que requieren prácticas intensivas de manejo y conservación de suelos y aguas (clase VI), que en aquella donde hay leves limitaciones (clase II). En el presente estudio aquellas áreas declaradas como áreas de conservación o protección serán excluidas del análisis, igual que las áreas en categorías de uso Clase VII y VIII; ya que en estas no se debería de llevar a cabo ninguna práctica agropecuaria. En la siguiente Cuadro, se muestran las áreas por categoría o clase de capacidades de uso con sus respectivas restricciones y manejo.

Figura 14. Capacidad de uso del suelo en el área de estudio

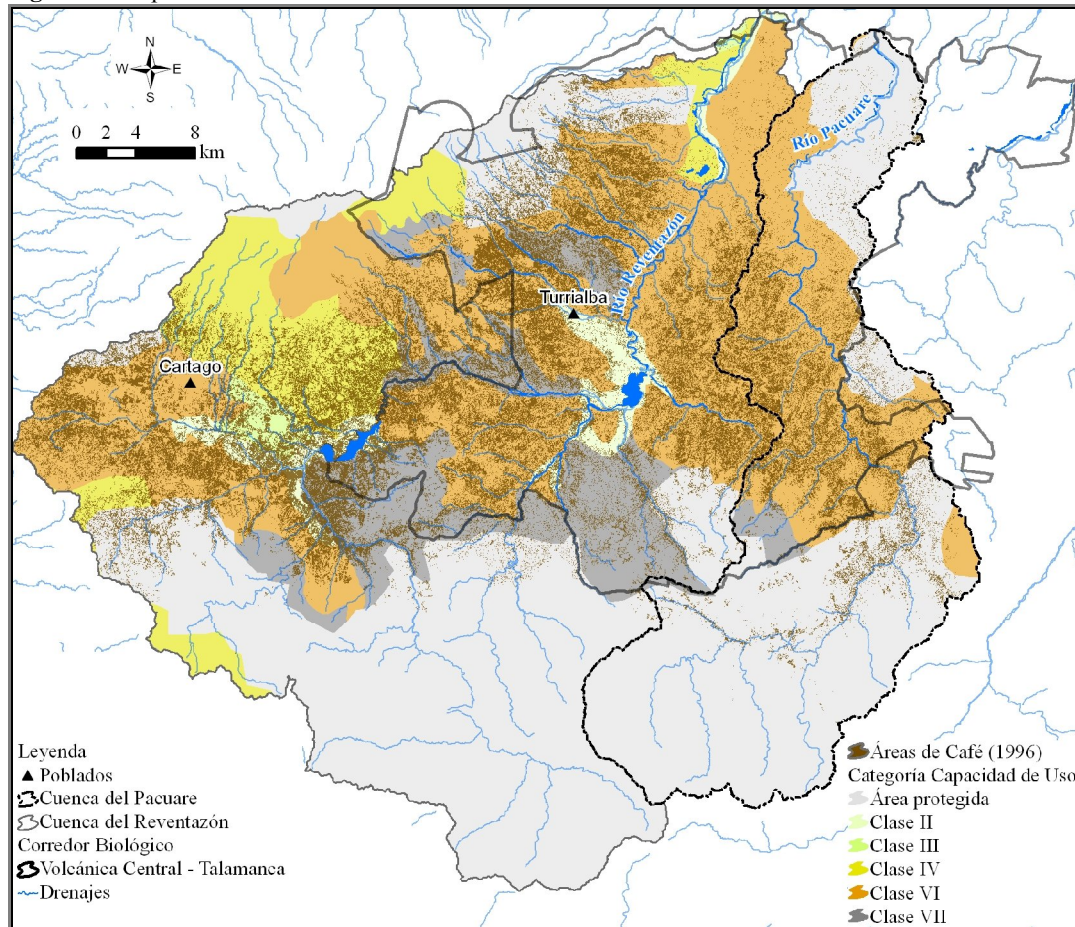
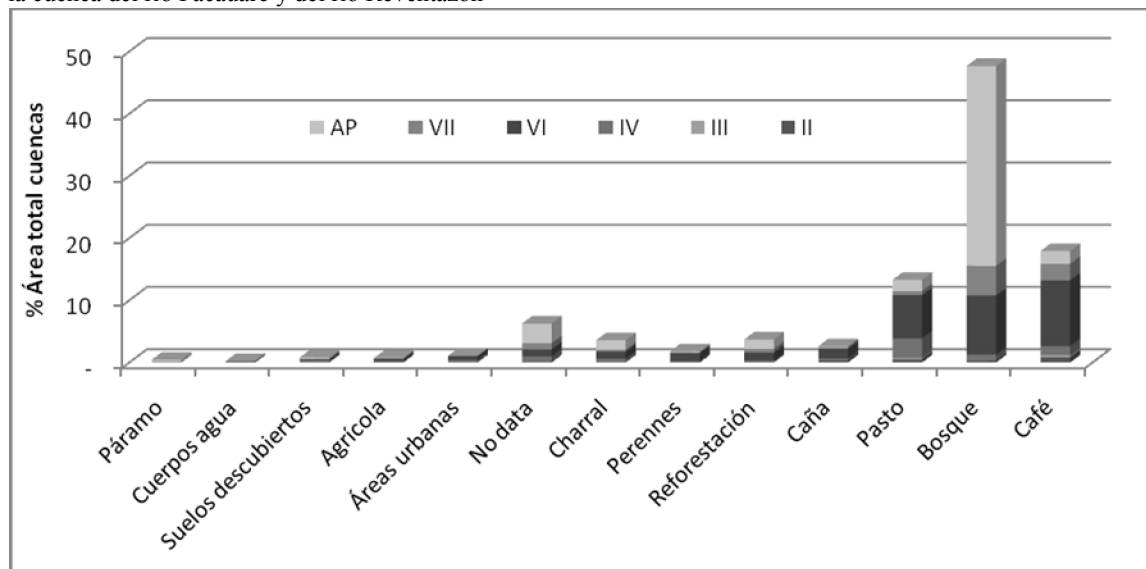


Figura 15. Distribución porcentual del área por usos de la tierra y por categoría de capacidad de uso del suelo de la cuenca del río Pacauare y del río Reventazón



Cuadro 7. Descripción de las categorías de capacidad de uso del suelo

Clase II: Las tierras de esta clase presentan leves limitaciones que solas o combinadas reducen la posibilidad de elección de actividades o se incrementan los costos de producción debido a la necesidad de usar prácticas de manejo y conservación de suelos.

Clase III: Las tierras de esta clase presentan limitaciones moderadas solas o combinadas, que restringen la elección de los cultivos. Para desarrollar los cultivos anuales se requieren prácticas intensivas de manejo y conservación de suelos y agua.

Clase IV: Las tierras de esta clase presentan fuertes limitaciones, solas o combinadas, que restringen su uso a vegetación semipermanente y permanente. Los cultivos anuales se pueden desarrollar únicamente en forma ocasional y con prácticas muy intensivas de manejo y conservación de suelos y aguas, excepto en climas pluviales, donde este tipo de cultivo no es recomendable.

Clase VI: Las tierras ubicadas dentro de esta clase son utilizadas para la producción forestal, así como cultivos permanentes tales como frutales y café, aunque estos últimos requieren prácticas intensivas de manejo y conservación de suelos y aguas.

Clase VII: Las tierras de esta clase tienen severas limitaciones por lo cual sólo se permite el manejo forestal en caso de cobertura boscosa; en aquellos casos en que el uso actual sea diferente al bosque, se procurará la restauración forestal por medio de la regeneración forestal por medio de la regeneración natural.

Clase VIII: Estas tierras no reúnen las condiciones mínimas para actividades de producción agropecuaria o forestal alguna. Las tierras de esta clase tienen utilidad sólo como zonas de preservación de flora y fauna, protección de áreas de recarga acuífera, reserva genética y belleza escénica.

Fuente: Cubero, 2006

En la **Figura 15** se muestra la distribución de los usos de la tierra por cada categoría de capacidad de uso del suelo; Donde un 11.3 % en la cuenca del río Pacuare y 20.3 % en el Reventazón del área corresponden al cultivo del café. De estas áreas de café aproximadamente un 3% en la cuenca del Pacuare y un 5 % en el Reventazón de las áreas de café se encuentran en las categorías de área de protección y con limitaciones severas (categoría VII), en las cuales debe tomar acción el Estado para el cumplimiento de la legislación. Algo importante de resaltar, es que la mayoría de las áreas que están bajo

categoría de protección, en la actualidad están con alguna figura legal de protección; implicando para la cuenca del Reventazón un 34.6% del área y para la cuenca del Pacuare un 55.5%.

Cuadro 8. Porcentaje de áreas de protección legal	Pacuare (%)	Reventazón (%)
Área sin figura de protección legal	44.5	65.4
Fincas del estado	0	0.0
Humedales	0	0
Monumento Nacional	0	0.1
Parque Nacional	24.7	24.8
Refugio de Vida Silvestre	0	0.7
Reserva Biológica	0	0
Reserva Forestal	30.0	2.7
Zona Protectora	0.7	6.2

4.4.2. Protección de los cauces de los ríos

En el presente trabajo se determinan las áreas de protección de las aguas de acuerdo a la ley forestal 7575, la cual fue publicada y entró en vigencia en el año 1996, mientras que la ley de aguas 276 fue publicada en el año 1946 con las últimas modificaciones en 1974. En la ley 7575 se declaran áreas de protección las siguientes:

- Las áreas que bordeen nacientes permanentes, definidas en un radio de cien metros medidos de modo horizontal.
- Una franja de quince metros en zona rural y de diez metros en zona urbana, medidas horizontalmente a ambos lados, en las riberas de los ríos, quebradas o arroyos, si el terreno es plano, y de cincuenta metros horizontales, si el terreno es quebrado.
- Una zona de cincuenta metros medida horizontalmente en las riberas de los lagos y embalses naturales y en los lagos o embalses artificiales construidos por el Estado y sus instituciones. Se exceptúan los lagos y embalses artificiales privados.
- Las áreas de recarga y los acuíferos de los manantiales, cuyos límites serán determinados por los órganos competentes establecidos en el reglamento de esta ley.

Teniendo en cuenta la ambigüedad del término “terrenos escarpados” se adoptó en el presente trabajo la establecida por el Ministerio de Obras Públicas en el decreto ejecutivo No. 17481; donde se define al terreno escarpado a aquel cuyas pendientes sobrepasan un 15% de gradiente. Posteriormente con la capa de ríos a escala 1:50,000, información cartográfica del Atlas de Costa Rica, se establecieron los retiros (buffers) de acuerdo a la legislación y pendiente para los drenajes y para los cuerpos de agua.

Las áreas de protección y retiro de los drenajes equivalen para la cuenca del Reventazón un 9% del área y para el Pacuare un 8%. Esta información servirá para determinar los requerimientos en el proceso de certificación o pago por servicios ambientales de las fincas cafetaleras, en cuanto al cumplimiento de la legislación.

4.4.3. Priorización de acciones de conservación dentro de los corredores biológicos

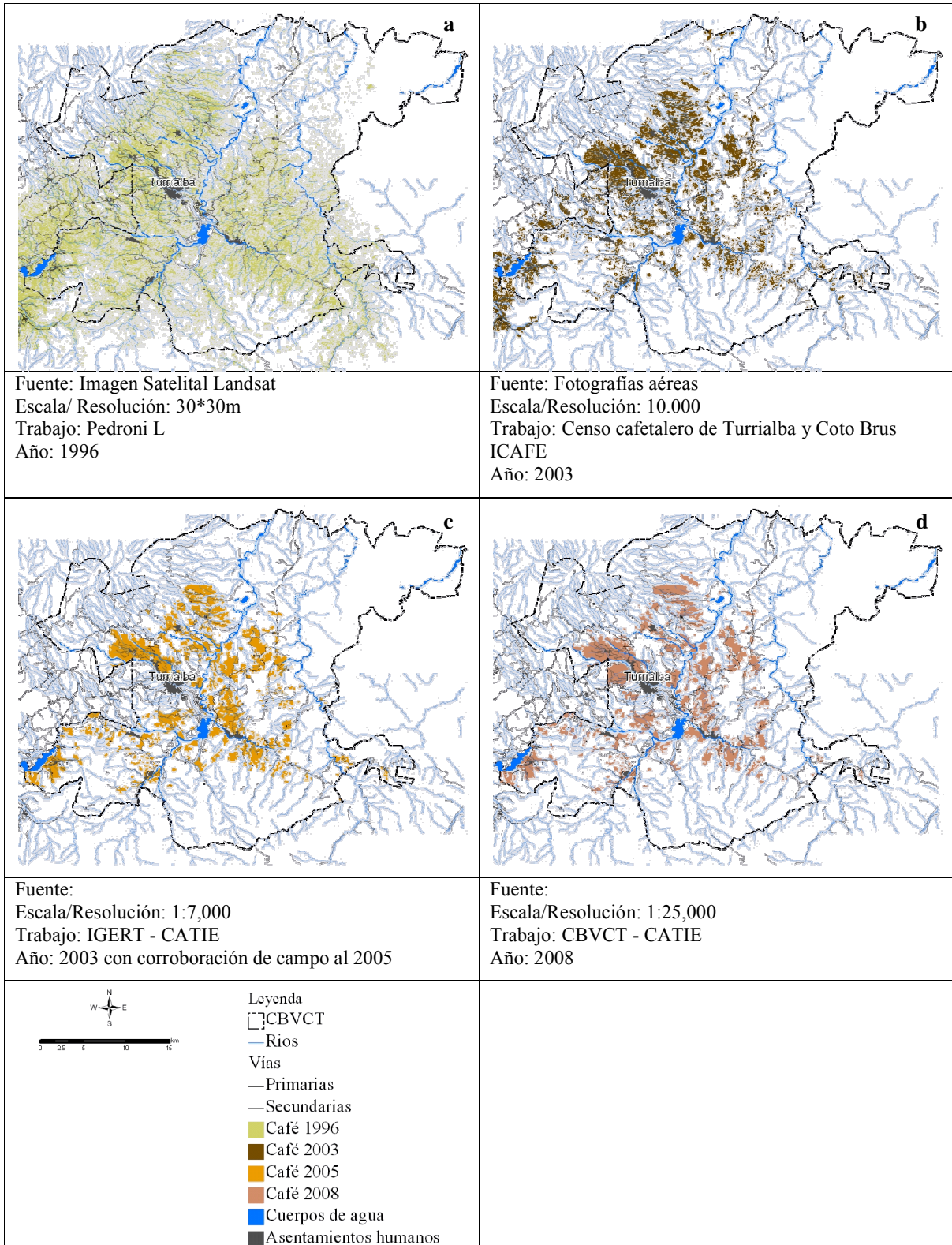
La iniciativa del Corredor Biológico Mesoamericano (CBM) constituye un programa de cooperación del Sistema de Integración Centroamericana (SICA) entre los países de Panamá, Costa Rica, Nicaragua, Honduras, El Salvador, Guatemala, Belice y México (con sus estados del sureste), cuya finalidad es la de definir de forma coordinada las prioridades en materia de inversión y asistencia técnica para la gestión de la biodiversidad, de forma que los recursos internos y externos sean aplicados eficazmente para lograr beneficios múltiples y maximizar los impactos positivos (Rojas, 2005). Para el caso de Costa Rica específicamente dentro del proyecto Ecomercados (MINAE-FONAFIFO) se estableció como prioridad para el pago de servicios ambientales las fincas ubicadas en los corredores biológicos, siendo en el área de estudio el Corredor Biológico Volcánica Central Talamanca - CBVCT (Figura 1).

4.4.4. Cambios temporales del cultivo del café

Del área del corredor se tiene información cartográfica de los usos del suelo del año 1996, 2002, 2005 y 2008. Aunque estos usos, son de diferentes trabajos y fueron levantados a diferentes escalas nos sirven de referencia para evidenciar las tendencias especialmente del cultivo del café, el cual está disminuyendo en área y como lo reporta el ICAFE (2005) y Cerdán (2007) está siendo remplazado principalmente por pastos. Los motivos de cambio de uso mencionados por Cerdán (2007) son: a) caída los precios de café, b) su cercanía con áreas urbanas, c) el incremento en el valor del precio de la tierra y d) zona marginal para la producción de café.

El ICAFE estimó una reducción en la superficie cafetalera de 11,912 a 10,006 ha entre los años 2001 y 2005 y Cerdán (2007) en su trabajo de conocimiento local, comenta que el 64 % de los cafeticultores entrevistados del CBVCT han reducido área con café, el 3% lo pensó eliminar el año de la entrevista (2007) y sólo el 1% aumento la superficie. Este rango de disminución en área va de 0.1 a 20 ha.

Figura 16a-d. Cambio de área de café en el CBVCT



4.5. Priorización de áreas

Para llevar a cabo la priorización de las áreas se tuvo en cuenta o se localizan aquellas áreas que tienen las siguientes características (Figura 12):

- Área de café en el año 1996
- Una erosión de moderada a muy severa ($> 10 \text{ ton/ha}\cdot\text{año}$)
- Ubicación sobre la categoría de uso del suelo Clase VI o menor, ya que son las categorías donde es permitido desarrollar actividades agropecuarias.
- Que presenten altas disminuciones de erosión a partir de la modelación
- Ubicación dentro del CBVCT

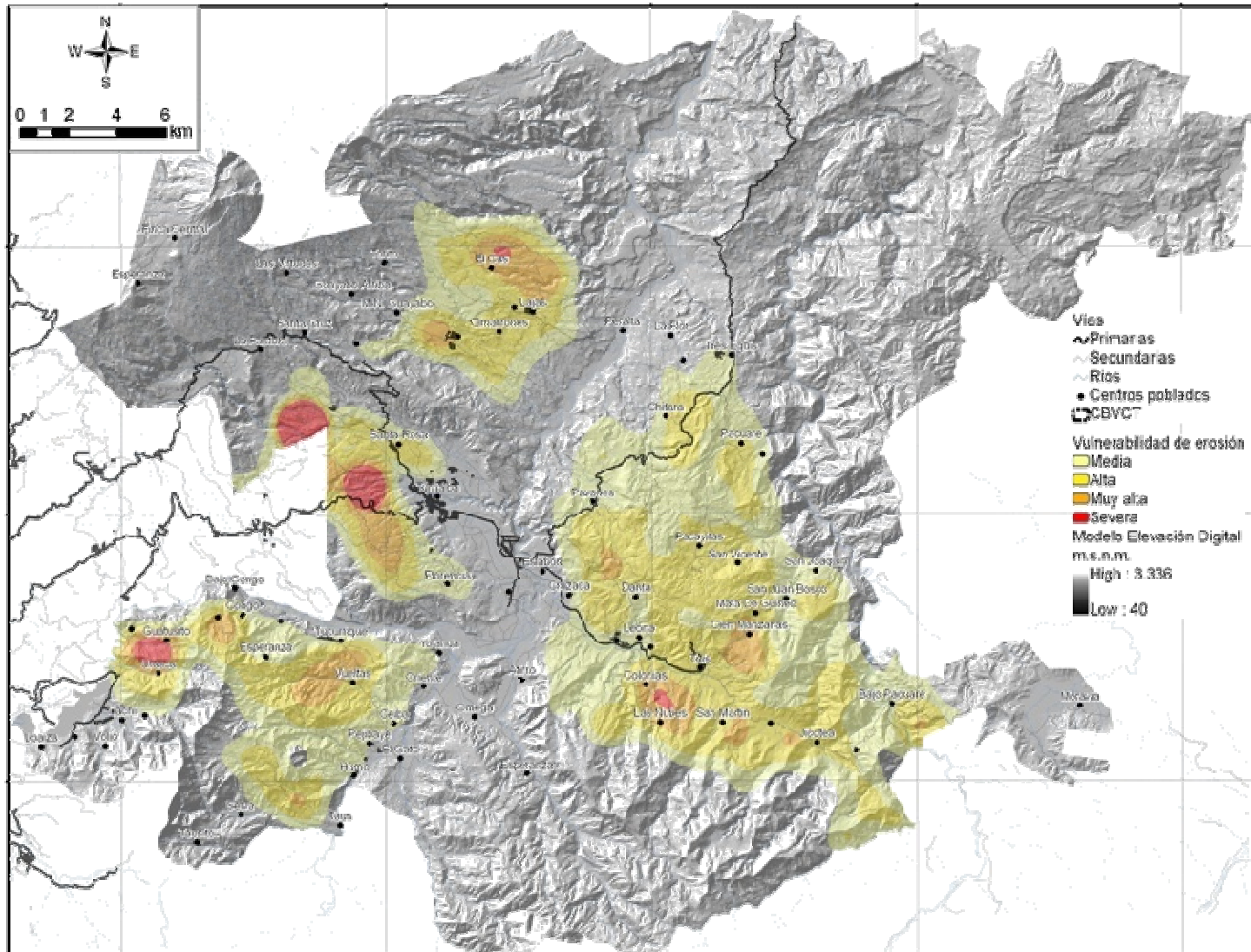
Se seleccionó trabajar con la imagen de usos de año 1996 por el nivel de detalle y porque fue tomada en un momento de auge del cultivo en la zona, es decir, donde la gran mayoría del área estaba con café. La información cartográfica levantada en el año 2005 y 2008 aunque esta en diferentes escalas, evidencia una tendencia al cambio del café por otros cultivos como la caña y el pasto, tendencias que fueron reportadas por Cerdán 2007.

Después de seleccionar las áreas con las características mencionadas, se llevó a cabo un análisis de densidad con base en el área de cada polígono de café para identificar los puntos calientes para el SA control y disminución de la erosión. Estos polígonos identificados están delimitando las zonas de café para el año 1996 que presentan erosiones superiores a las $10 \text{ ton/ha}\cdot\text{año}$. (Figura 17).

En las áreas identificadas con una vulnerabilidad a la erosión severa son las áreas con manejo más intensivo de café de acuerdo a la tipología de Cerdán (2007). El gran polígono sur-este es la zona donde los cafetales están a una menor altura sobre el nivel del mar y también es la zona donde se han abandonado y cambiado por otros usos en mayor medida, este café es manejado con prácticas menos intensivas.

El mayor punto caliente de erosión al noroeste del mapa es cruzado por el río Turrialba el cual es afluente del río Reventazón, esto puede tener fuertes repercusiones para la hidroeléctrica y para el principal centro poblado de la zona Turrialba. En este punto caliente se debe a la pendiente del área y a que es donde se encuentra el mayor conglomerado de café dentro de la zona.

Figura 17. Priorización de áreas de café o punto calientes (Hotspots) para la implementación de un PSA o proceso de Certificación



5. Discusión

5.1. Modelos y programas

Para llevar a cabo la cuantificación de la erosión a través de la EUPS, se han desarrollado diferentes herramientas de SIG que facilitan el proceso; estas herramientas han sido desarrolladas para aplicar la ecuación completa o para cuantificar un solo factor, como es el caso de la USLE2D. En el presente trabajo se evaluaron diferentes herramientas con el fin de encontrar la que mejor se ajusta al área de estudio con un fácil manejo, aplicación y además que tenga implícito los ajustes y correcciones a la ecuación universal.

Marchamalo (2004) reporta que el ICE (2002) evaluó la posibilidad de calibrar el modelo SWAT para los estudios de hidrología en Costa Rica, sin embargo, el elevado volumen de datos demandados por el modelo impidió la ejecución de una primera simulación en Costa Rica. Además, que este modelo trabaja con las ecuaciones originales para estimar el factor LS, lo cual como se mencionó aporta a una estimación desfasada o elevada de la erosión.

Gómez (2002) justifica el empleo del modelo CALCITE basado en USLE, con adecuada calibración de los factores; esta aplicación se caracteriza por su simplicidad y utilidad para planificar el mejor uso posible del suelo, seleccionar sistemas de cultivo, manejo y prácticas de conservación, además de estimar las pérdidas de suelo en áreas con uso de suelo diferente a la agricultura.

El CALCITE aunque es un software que ha sido probado en Costa Rica, presenta las desventajas de ejecutarlo desde el DOS y actualmente la consecución de la información sobre tutoriales, manuales y la misma extensión no se encuentran en la web, lo que limita su aplicabilidad. Igualmente no se encuentra soporte técnico y actualización de los algoritmos. A nivel de análisis, este solo soporta una cantidad de columnas y de filas determinadas (máximo 1024), factor que limita el nivel de detalle, resolución y extensión al que se puede llegar a hacer el análisis.

Otra aplicación gratuita en la web es la USLE2D, pero estas sólo calcula el factor LS a partir de un modelo de elevación digital en formato Idrisi, por lo tanto esta es útil para calcular la erosión potencial solamente. Sin embargo hay que tener en cuenta que los valores arrojados del factor LS son elevados, y este puede ser un sesgo para los resultados. En relación a la extensión EUPSR del Idrisi, la cual desarrolla el cálculo a partir de valores o criterios determinados por el usuario, como la longitud de la pendiente máxima, el umbral del aspecto y el tamaño mínimo de parche, personaliza los resultados de acuerdo al criterio y conocimiento del proceso del modela-

dor. Esto es favorable para una persona que es conocedora del tema, pero si se propone plantear una aplicación y metodología sencilla para ser aplicada fácilmente para la ordenación y administración de los recursos naturales, especialmente para establecer criterios de pagos por servicios ambientales no es viable.

Finalmente, la extensión utilizada en el presente trabajo para la cuantificación de la erosión NSPECT, es una herramienta sencilla que permite calcular la EUPSR, además de, la erosión para eventos puntuales por medio de la MUSLE⁷, la escorrentía y los niveles de contaminación de diferentes químicos como el fosforo, nitrógeno, etc. Los valores los arroja tanto de manera acumulada y local. Esta herramienta lleva a cabo un proceso de ajuste de los valores de erosión potencial por medio del cálculo de una tasa de entrega de sedimentos a partir del área de drenaje, el número de curva y la relación relieve-longitud, arrojando valores coherentes con los reportados por las estaciones de sedimentación del ICE, lo cual nos permitió demostrar que la EUPSR es un buen modelo y que se ajusta a los trópicos para cuantificar la erosión laminar potencial.

La información utilizada para este cálculo de la erosión fue información cartográfica de fácil acceso y oficial, ya que lo que se quería probar en el presente estudio es la facilidad o la disponibilidad actual de generar buenos modelos a partir de información general, además de identificar metodologías sencillas pero robustas. El incluir la comparación de los datos estimados con datos reales de estaciones de sedimentos dentro del proceso de cuantificación, permite validar los resultados a través del modelo y garantiza que la priorización y selección de las áreas de mayor producción de erosión estén acordes a la realidad del territorio; sin embargo, es importante tener presente que con la EUPSR sólo se cuantifica la erosión laminar y solo se prioriza por lo tanto en relación a ese tipo de erosión.

Es por esto, que en el presente trabajo se identifican las áreas prioritarias para un programa de PSA o de certificación, donde actualmente los productores pueden estar presentando grandes problemas de erosión y deterioro del recurso suelo y a la vez están afectando la vida útil de las hidroeléctricas. Al hacer esta diferenciación, es notorio que el nivel de inversión en cambio de prácticas para el control de la actividad, va a ser muy diferente donde se encuentran estas áreas de alta prioridad y donde no hay ningún riesgo. Otro factor importante de esta priorización, es que se están involucrando productores que posiblemente no pueden asumir el costo de transacción de acceder a un PSA o un proceso de certificación, es decir, estrecha esta relación entre productores de SA y pagadores.

⁷ MUSLE - Modified Universal Soil Loss Equation

5.2. La importancia de las áreas de café vs. otros usos

En el área de estudio para el año 1996, el cultivo del café es era el uso más predominante después de los bosques, en los cuales aproximadamente un 27 % se encuentra en categoría de erosión entre moderada y alta, además que un 17% se encuentra en categoría de manejo clase VI. Haciendo una comparación aproximada entre los usos de 2005 y 2008, el cultivo del café disminuyó aproximadamente en un 12%, siendo el pasto el área que mayor proporción ocupa en la actualidad. Aunque el área de bosques está incrementando, con el aumento de pastos, se está afectando la oferta de los SA asociados a los SAF de café, por lo tanto es importante agilizar el proceso de incentivos o pagos que compensen las bajas de precios en el mercado.

Es importante tener en cuenta, que otros cultivos como los anuales aunque ocupan una baja proporción en área del corredor, son áreas que están aportando grandes proporciones de sedimentos. Es por este motivo que se recomienda para llevar a cabo una planeación integral de los recursos naturales y la inversión económica en su conservación, protección y mejoramiento mantener una visión integral del paisaje, ya que en este documento se hace gran énfasis en los SAF de café, para identificar su gran aporte en la oferta de SA a nivel de paisaje.

5.3. Selección de áreas prioritarias

Como Geler et al. (2004) menciona, los modelos de dinámica ambiental son eficaces en la presentación de la variabilidad espacial y temporal de los fenómenos naturales, debido a la dinámica de los procesos. Es en este sentido que un modelo apropiado para el servicio ambiental trabajado, es más acertado que otras metodologías como las multicriterio para priorizar estas áreas por diversos servicios ambientales (Toohey et al, 2007; Imbach, 2005). De esta manera se está garantizando que las áreas seleccionadas son en las que se debe de actuar con más urgencia, mientras que las áreas que no están seleccionadas no significan que no sean importantes, sólo que su nivel de importancia no es tan alto.

Los criterios de priorización pueden estar muy asociados a los intereses de cada actor; sin embargo, es importante mencionar que los criterios de este trabajo, son criterios específicos a la erosión y al cultivo del café; por lo tanto es importante en futuras investigaciones, complementar esta priorización con otras variables socio económicas que permitan localizar los recursos para la conservación donde igualmente se beneficien las familias más necesitadas.

6. Bibliografía

- Afandi. S.f. Soil erosion and soil physical properties under coffee tree with various management in Hilly humid tropical area of Lampung, South Sumatra, Indonesia. Gifu University. No: DGHE – 10103
- Bermúdez, M.M. 1980. Erosión hídrica y escorrentía superficial del sistema café (*Coffea arabica*), poró (*Erythrina poeppigiana*) y laurel (*Cordia alliodora*) en Turrialba Costa Rica. Tesis MSc CATIE. Turrialba Costa Rica. 74 pp.
- Berstech F. 1996. Informe final el recurso suelo en Costa Rica Décimo informe sobre el estado de la nación en desarrollo humano sostenible. Costa Rica. Consultado en: http://www.estadonacion.or.cr/Info2004/Ponencias/Armonia/Bertsch_2004.pdf
- Burke L. y Sugg Z. 2006. Modelamiento hidrológico de la descarga de las cuencas hidrológicas en el arrecife Mesoamericano. World Resources Institute. Consultado en: http://pdf.wri.org/mar_hydrologic_model_results_spanish.pdf
- Cerdan C.R. 2007. Conocimiento local sobre servicios ecosistémicos de cafecultores del Corredor Biológico Volcánica Central Talamanca, Costa Rica. Tesis MSc CATIE. Turrialba Costa Rica. 78 pp.
- Cervantes, C y W.G.Vharson, 1992 Características físicas y pérdida de nutrimentos de las parcelas de erosión de Cerbatana de Puriscal, Costa Rica. Agronomía Costarricense 16(1): 99-106. 1992.
- Clerici C; García P. 2001. Aplicaciones del modelo USLE/RUSLE para estimar perdidas de suelo por erosión en Uruguay y la región sur de la Cuenca del Rio de la Plata. Agrociencia. Volumen V. N° 1. Pag. 92 – 103.
- Cubero, D. 1996. Manual de manejo y conservación de suelos. Editorial de la Universidad Estatal a Distancia, San José, Costa Rica, pp. 28-49.
- Decreto 23214. Aplicación de la Metodología para la Determinación de la Capacidad de Uso de las Tierras de Costa Rica. La Gaceta N° 107 del 06 de junio de 1994.
- Decreto 29375. Reglamento a la Ley de Uso, Manejo y Conservación de Suelos, Costa Rica.
- Decreto Ejecutivo 17481. Reglamento de tarifas de honorarios para los profesionales de agrimensura, topografía e ingeniería topográfica. La Gaceta N° 74 del 20 de abril de 1987.
- Desmet P.J.J. and Govers G. 1996. A GIS procedure for automatically calculating the USLE LS factor on topographically complex landscape units Journal of Soil and Water Conservation 51(5):427-433
- Donald. 2004. Biodiversity Impacts of Some Agricultural Commodity Production Systems. Conservation Biology. Vol 18, N° 1, February. 17 – 37.
- Eslinger, David L., H. Jamieson Carter, Ed Dempsey, Margaret VanderWilt, Beverly Wilson, and Andrew Meredith. 2005. "The Nonpoint-Source Pollution and Erosion Comparison

- Tool." NOAA Coastal Services Center, Charleston, SC. Accessed [06 de 2008] at <http://csc.noaa.gov/nspect/>.
- FAO. 1980. Metodología provisional para la evaluación de la degradación de los suelos. Roma. 86p
- _____.1989. Evaluación de los estados de la erosión hídrica de los suelos en Costa Rica. Informe técnico N°2. Programa de cooperación FAO/Italia. Roma.
- Foster, G.R. and Wischmeier, W.H., 1974. Evaluating irregular slopes for soil loss prediction. Transactions of the ASAE, 17: 305-309.
- García R. 2005. Corredores biológicos: la conservación desde y para las personas. En Corredores Biológicos de Costa Rica. 2005. Consultado 10 enero en: http://documentacion.sirefor.go.cr/archivo/CBM/cbcr/randall_garcia2.pdf
- Geler T; Ligtenberg A & De By R. 2004. Modelo para el pronóstico de la dinámica de erosión en los suelos debido a los cambio en el uso de la tierra. Consultado en: http://www.mappinginteractivo.com/plantilla-ante.asp?id_articulo=508
- Gómez, F. 2002. Evaluación de la erosión potencial y producción de sedimentos en tres cuencas de Costa Rica Trabajo de Graduación para obtener el grado de Licenciado en Ingeniería Civil. UCR. San José, Costa Rica. 191 pp.
- Govers, G., 1991. Rill erosion on arable land in Central Belgium: rates, controls and predictability. Catena, 18: 133-155.
- _____, G., Van Daele, K., Desmet, P., Poesen, J., Bunte, K., 1994. The role of soil tillage in soil redistribution on hill slopes. European Journal of Soil Science, 45: 469-478.
- Hartemink A. 2006. Soil erosion: Perennial crop plantations. Encyclopedia of Soil Science. DOI: 10.1081 / E-ESS-120041234
- Hoyos N. Spatial modeling of soil erosion potential in a tropical watershed of the Colombian Andes. Elsevier Catena 63 pg. 85 – 108.
- ICAFFE – Instituto del Café de Costa Rica. 2003. Censo Cafetalero de Turrialba y Coto Brus, Documento metodológico. San José, Costa Rica.
- _____- Instituto del Café de Costa Rica. 2005. Informe sobre la actividad cafetalera de Costa Rica. San José, CR. 85 p.
- Iijima M; Izumi Y; Yulliadi E; Sunyoto; Afandi & Utomo N. 2003. Erosion control on a steep sloped coffee field in Indonesia with alley cropping, intercropped vegetables and no – tillage. Plant Production Science 6(3). 224 – 229.
- Ives, N.C. 1951. Soil and water runoff studies in a tropical region. Turrialba 1(5): 240-244. Turrialba. Costa Rica.
- Lal, R., Kimble, J., Follet, R. and Cole, C. (1998). The Potential of U.S. Cropland to Sequester Carbon and Mitigate the Greenhouse Effect, Ann Arbor, MI: Sleeping Bear Press, Amsterdam.

- Lewis L A.; Verstraeten G; Zhu H. 2005. EUPSR applied in a GIS framework: Calculating the LS factor and deriving homogeneous patches for estimating soil losses. *International Journal of geographical information science*. Vol 19, No. 7, August 2005, 809-829.
- Ley 276. Ley de aguas, Costa Rica. Del 27 de agosto de 1946.
- Ley 7554. Ley Orgánica del Ambiente, Costa Rica. La Gaceta N° 215 del día 13 de noviembre de 1995.
- Ley 7575. Ley Forestal, Costa Rica. La Gaceta N° 72 del 16 de abril de 1996.
- Ley 7779. Ley de Uso, Manejo y Conservación de Suelos, Costa Rica. La Gaceta N° 97 del 21 de mayo de 1998.
- Marchamalo, M. 2004. Ordenación del territorio para la producción de servicios ambientales hídricos: aplicación a la cuenca del río Birrís (Costa Rica). Tesis doctoral. Universidad Politécnica de Madrid.
- Mc Cool, D.K. 1982. Effects of slope length and steepness on soil erosion from rangelands. *Proc. Workshop on Estimating Erosion and Sediment Yield from Rangelands*, Tucson, Arizona, March 7-9, 1981, USDA-ARS, Agricultural Reviews and Manuals, ARM-W-26.
- _____, D.K., Brown, L.C., Foster, G.R., Mutchler, C.K. and Meyer, L.D., 1987. Revised slope steepness factor for the Universal Soil Loss Equation. *Trans. ASAE*, 30, 1387-1396.
- _____, D.K., Foster, G.R., Mutchler, C.K. and Meyer, L.D., 1989. Revised slope length factor for the Universal Soil Loss Equation. *Trans. ASAE*, 32, 1571-1576.
- MEA - Millenium Ecosystem Assesment. 2005. *Ecosystems and Human Well-being: current state and trends*. Island Press. Washington, US.
- Mitasova H., Maros J. H., Iverson L. R. 1995. Modeling topographic potential for erosion and deposition using GIS. *International Journal of GIS*. 10(5): 629-641. Consultado en: <http://www.treearch.fs.fed.us/pubs/13460>
- Mora C. I. 1987. Evaluación de la pérdida de suelo mediante la ecuación universal (EUPS): aplicación para definir acciones de manejo en la cuenca del rio pejibaye, vertiente atlántica, Costa Rica. Tesis Mag. Sc., Turrialba, C.R., Programa UCR/CATIE. 104 p.
- Mutua B.M., Lik, A. y Loiskandl, W. 2006. Modeling soil erosion and sediment yield at a catchment scale: the case of Masinga catchment, Kenya. *Land Degradation y Development*. 17: 557 – 570.
- Nearing, M.A., 1997. A single, continuous function for slope steepness influence on soil loss. *Soil Science Society of America Journal*, 61 (3): 917-919
- Noia Rocha, J.A. 1977. Erosión de suelos de pendientes cultivadas con maíz y frijol con diferentes grados de cobertura viva dentro de una plantación forestal. Tesis MSc CATIE. Turrialba. Costa Rica. 182 pp.

- Novotny, V. & H.Olem, 1994. Water quality: prevention, identification and management of diffuse pollution. Van Nostrand Reinhold, New York. 1054 pp
- Ortiz E. y Masis M. 2004. Atlas Digital de Costa Rica. Instituto Tecnológico de Costa Rica. Escuela de Ingeniería Forestal.
- Oxfam (Comité Oxford de ayuda contra el hambre). 2005. La crisis del café continua: evaluación de la situación y recomendaciones de políticas para reducir la pobreza en el sector cafetalero. EUA, 9 p.
- Imbach P, 2006. Modelo de Elevación Digital. Grupo Cambio Global CATIE
- Pedroni L. 2003. Improved classification of Landsat Thematic Mapper data using modified prior probabilities in large and complex landscapes. International Journal of Remote Sensing, Vol. 23. N° 1, 91 - 113
- Perfecto, I; Rice, R; Greenberg, R; Van der Voort, M. 1996. Shade coffee: a disappearing refuge for biodiversity. BioScience 46 (8): 598-608
- Renard, K.G., G.R. Foster, G.A. Weesies, D.K. McCool, and D.C. Yoder. 1997. *Predicting Soil Erosion by Water: A Guide to Conservation Planning with Revised Universal Soil Loss Equation (EUPSR)*. United States Department of Agriculture, Agriculture Handbook 703, United States Government Printing Office, Washington D.C.
- Rick D. Van Remortel, Lockheed Martin Environmental Services, Las Vegas, NV, latest draft dated Dec 2003. Other primary contributors are: Robert J. Hickey, Central Washington University, Ellensburg, WA; Mathew E. Hamilton and Robert W. Michel, Lockheed Martin Environmental Services, Las Vegas, NV.
- Rojas, L.A. 2005. La iniciativa del Corredor Biológico Mesoamericano y el Proyecto “Establecimiento de un Programa para la Consolidación del Corredor Biológico Mesoamericano”. Logros y lecciones aprendidas en el proceso en Costa Rica. En: Corredores Biológicos de Costa Rica.
- Saborio J. 1996. Evaluación del transporte de sedimentos en el río Pacuare, cuenca tropical húmeda en Costa Rica. Tesis MSc CATIE. Turrialba. Costa Rica. 168 pp.
- _____, J. 2000. Estudio de erosión para la República de Guatemala. Centro Agronómico Tropical de Investigación y Enseñanza. Turrialba.
- Sancho, F. 1991. Medición de pérdidas de suelo a través del empleo de parcelas de escurrimiento. In. W.G. Vahrson, M. Alfaro y G. Palacios. Memoria del Taller de Erosión de Suelos. Universidad Nacional., Heredia, Costa Rica. 236 pp.
- Schroth G.; da Fonseca G. A. B; Harvey C. A.; Gascon C.; Vasconcelos H.; Izac A. M.; Angelsen A.; Finegan B.; Kaimowitz D.; Krauss U.; Laurance S.G. ; Laurance W. F.; Nasi R.; Naughton-Treves L.; Niesten E.; Richardson D. M. Somarriba E.; Tucker N.; Vicent G. & Wilkie D. 2004. Agroforestry and biodiversity conservation in tropical landscapes.

- Ed Schroth G.; da Fonseca G. A. B; Harvey C. A.; Gascon C.; Vasconcelos H.; Izac A. M. USA. 523 pp.
- Swift, M.J.; Izac, A.-M.N.; van Noordwijk M. 2004. Biodiversity and ecosystem services in agricultural landscapes—are we asking the right questions?. *Agriculture, Ecosystems and Environment* 104 (2004). 113–134 pp.
- Toohey R., Ramos M., Donovan S., Varón E., Florian E., Jones J., Cárdenas A., Harvey C., Wulfhorst JD., Boll J., Bosque-Pérez N., Eigenbrode S., Stoian D., and Hilje L. 2007. Integrating decision maker preferences and ecosystem services of coffee agroforestry systems within the Volcánica Central de Talamanca Biological Corridor, Costa Rica. In: *Second International Symposium / CATIE. “Mulistrata Agroforestry System with Perennial Crops Making Ecosystem Services count for farmers , consumers and the Environment”*; SESSION 2.2: Integration of Ecosystem Services at Landscape and Regional Scales, September 17 – 21, 2007.
- Vaast P., Beer J., Harvey C., Harmand J M, 2005. Environmental services of coffee agroforestry systems in Central America: a promising potential to improve the livelihoods of coffee farmers’ communities. In: 4th Henry A. Wallace/CATIE Inter-American Scientific Conference "Integrated Management of Environmental Services in Human-Dominated Tropical Landscapes", November 1-3, 2005. pp.35-39
- Van Oost, K. & Govers, G. 2000. USLE2D. Physical and Regional Geography Research Group. Katholieke Universiteit Leuven.
<http://www.kuleuven.be/geography/frg/modelling/erosion/usle2dhome/references/references.php>
- Van Remortel, R., M. Hamilton, and R. Hickey, 2001. Estimating the LS factor for RUSLE through iterative slope length processing of digital elevation data. *Cartography*, v. 30, no. 1, pp. 27-35
- Van Remortel, R.D., Maichle R.W. y Hickey R.J. 2004. Computing the LS factor for the Revised Universal Soil Loss Equation through array-based slope processing of digital elevation data using a C++ executable. *Computers & Geosciences* 30: 1043 – 1053.
- Wischmeier, W.H. and Smith, D.D., 1978. Predicting rainfall erosion losses: a guide to conservation planning. *USDA Agr. Handbook* 537.
- _____, W.H., Johnson C.B., y Cross B.V. 1971. A soil erodibility nomograph for farmland and construction sites. *Journal of Soil and Water Conservation*, 26, 5: 189 – 1920
- Wünscher T, Engel S y Wunder S. 2006. Payments for environmental services in Costa Rica: increasing efficiency through spatial differentiation. *Quarterly Journal of International Agriculture* 45, N° 4: 319 – 337.

Artículo de investigación II

Identificación de las áreas importantes para la conservación y conectividad de la biodiversidad, b) evaluación del aporte de los sistemas agroforestales de café en la oferta de este SA y c) priorización de áreas para un PSA o proceso de certificación.

1. Introducción

La ubicación geográfica de Mesoamérica le da unas características muy importantes ambientalmente, reflejadas en la existencia de más de 200 ecosistemas, unas 33 eco regiones naturales y más de 300 formas de paisaje (CCAD, 2006). La región también alberga una rica diversidad cultural pues en su territorio cuenta con cerca de 46 grupos étnicos (CCAD, 2005b).

Meyers et ál. (2000) reporta que Mesoamérica tiene aproximadamente unos 230.000 Km² de vegetación primaria, de la cual el 59,9% de esta área se encuentra protegida legalmente. Estos ecosistemas albergan 24.000 especies de plantas y 2.859 vertebrados, de los cuales en relación a la cantidad mundial de plantas y de vertebrados el 1,7% y el 4,2% son endémicas respectivamente. Esta importancia se ve reflejada en los resultados de los mismos autores quienes priorizaron las áreas de conservación biológica a nivel mundial, encontrando 25 zonas “Hot Spots”, dentro de las cuales se encuentran Mesoamérica.

El uso efectivo de esta biodiversidad en todos los niveles genes, especies y ecosistemas, es un requisito para el desarrollo sostenible (CBD, 2006) y teniendo en cuenta que la población rural es la más afectada por las consecuencias de la pérdida de biodiversidad y el deterioro de los ecosistemas, son también las que dependen más directamente de los SE para sus medios de vida, sin tener la capacidad de pago por alternativas ante el deterioro de los servicios (CBD, 2007).

El acelerado deterioro ambiental y la fragmentación está afectando la habilidad de los ecosistemas para mantener la biodiversidad y ofrecer bienes y servicios (CBD, 2007) en respuesta a diversos factores sociales, culturales, económicos, que ocurren a diferentes escalas locales, nacionales y globales.

Debido a este deterioro se han determinado diferentes medidas precautorias a través de iniciativas públicas y privadas, como lo son el establecimiento de las áreas protegidas legalmente, las cuales garantizan la protección de cierta área. Para el caso de Costa Rica desde la década de los 70s comenzó el proceso de protección, cuando se crea el Servicio de Parques Nacionales y con éste la mayoría de las áreas protegidas que existen en la actualidad (SINAC – MINAE, 2003 y SINAC, 2007). Las Áreas Silvestres Protegidas (ASP) en Costa Rica son 160 con 9 categorías

de manejo diferentes: Fincas del Estado, Humedales, Monumento Nacional, Parque Nacional, Refugio Nacional de Vida Silvestre, Reserva Biológica, Reserva Forestal, Reserva Natural Absoluta y Zona Protectora. Estas áreas abarcan aproximadamente el 26.21 % de la superficie continental nacional, y un 16.53% de la superficie marina nacional (SINAC, 2006).

A pesar de estas iniciativas, los procesos de deforestación y agotamiento de los recursos naturales han aumentado, por lo que se proponen o se inician otros procesos de conservación a nivel regional como el del Corredor Biológico Mesoamericano, el cual pretende la unión de los ecosistemas de Norteamérica con los de Sudamérica a través del Istmo Centroamericano, uniendo ecosistemas naturales y poco alterados, así como áreas con uso sustentable de los recursos naturales⁸. Esta unión o mejoramiento del flujo energético entre las reservas o piscinas de biodiversidad, se lleva a cabo a través de los paisajes agropecuarios en los cuales se han encontrado que los Sistemas Agroforestales juegan un papel importante por su tipología de manejo.

Uno de los sistemas productivos más investigados es el cultivo de café con sombra, del cual Komar (2006) menciona que los argumentos de la gran importancia sobre las plantaciones para la conservación están basados en gran medida en tres observaciones bien documentadas:

1. Las plantaciones de café con sombra tienden a tener más especies de aves que las plantaciones a sol o que los hábitats con otra actividad agrícola (Wunderle and Latta 1996, Estrada et al. 1997, Petit et al. 1999, Tejeda-Cruz and Sutherland 2004)
2. En algunos paisajes el café con sombra tienen tanta o más especies de aves que los parches de bosque (Greenberg et al. 1997b, Tejeda-Cruz and Sutherland 2004)
3. Las aves migratorias Neártica – Neotropicales son con frecuencia más abundantes en el café con sombra que en los bosques naturales (Wunderle and Latta 1996, Greenberg et al. 1997b, Tejeda-Cruz and Sutherland 2004)

Algunas de las iniciativas económicas tanto públicas como privadas que buscan fomentar buenas prácticas agropecuarias a través de pagos por servicios ambientales, procesos de certificación o inclusive inversiones privadas de conservación y protección de la biodiversidad, los cuales se enfrentan a un reto sobre la ubicación de estas inversiones, es decir, en que parte del paisaje se logra una mayor eficiencia en términos de servicios contratados por dólar invertido. Wünscher et al. (2006) señalaron que cuando se integra la distribución espacial de los servicios prestados a nivel de paisaje y se tiene en cuenta un pago diferenciado por servicio, se obtiene esta eficiencia.

⁸ <http://www.cbmm.gob.mx/descripciondelproyecto.php>

La eficiencia en estos pagos o inversiones determinan varios aspectos, a) La cantidad de productores que puedan ser incentivados a mejorar sus prácticas agropecuarias y su calidad de vida, b) La selección de áreas que realmente son importantes para la conservación y conectividad de la biodiversidad, c) La captura de más recursos para invertir por el funcionamiento y credibilidad del instrumento económico y d) La durabilidad y permanencia tanto del instrumento económico como de las áreas mejoradas.

Es por esto, que en el presente trabajo nos enfocamos en priorizar las áreas para la conservación y la conectividad de la biodiversidad dentro del Corredor Biológico Volcánica Central Talamanca, el cual está uniendo 9 áreas protegidas. Este proceso de priorización se llevó a cabo a partir de tres especies de aves como especies indicadoras. Las especies seleccionadas: *Dendrocyca pensylvanica*, *Ramphocellus passerini* y el *Mionectes oleagineus*, son especies con diferentes requerimientos ecológicos que van desde la especie generalista hasta la dependiente de bosque. A partir de información cartográfica y de monitoreo de aves, se identificaron por medio de la herramienta GARP⁹ los nichos ecológicos potenciales para cada especie, es decir, donde se puede encontrar esta especie dentro del CBVCT, esto con el fin de trazar las redes de conectividad donde realmente se encuentran las especies. La conectividad funcional se llevo a cabo con la herramienta FUNCONN¹⁰ la cual involucra los requerimientos ambientales y la capacidad de movilidad de las especies, para finalmente identificar las áreas dentro del corredor que son prioritarias para garantizar la movilidad de las especies.

Finalmente se llevaron a cabo la modelación de las redes de conectividad en diferentes escenarios de usos del suelo con el fin de evaluar el efecto o la importancia de las áreas de café, en la provisión de la conectividad principalmente para el *M. oleagineus*, la especie dependiente de bosque y más exigente en calidad de hábitat. Estos escenarios permiten evaluar el impacto que tiene la tendencia de cambio de las áreas de café por pastos y pastos arbolados en el aprovisionamiento de este servicio.

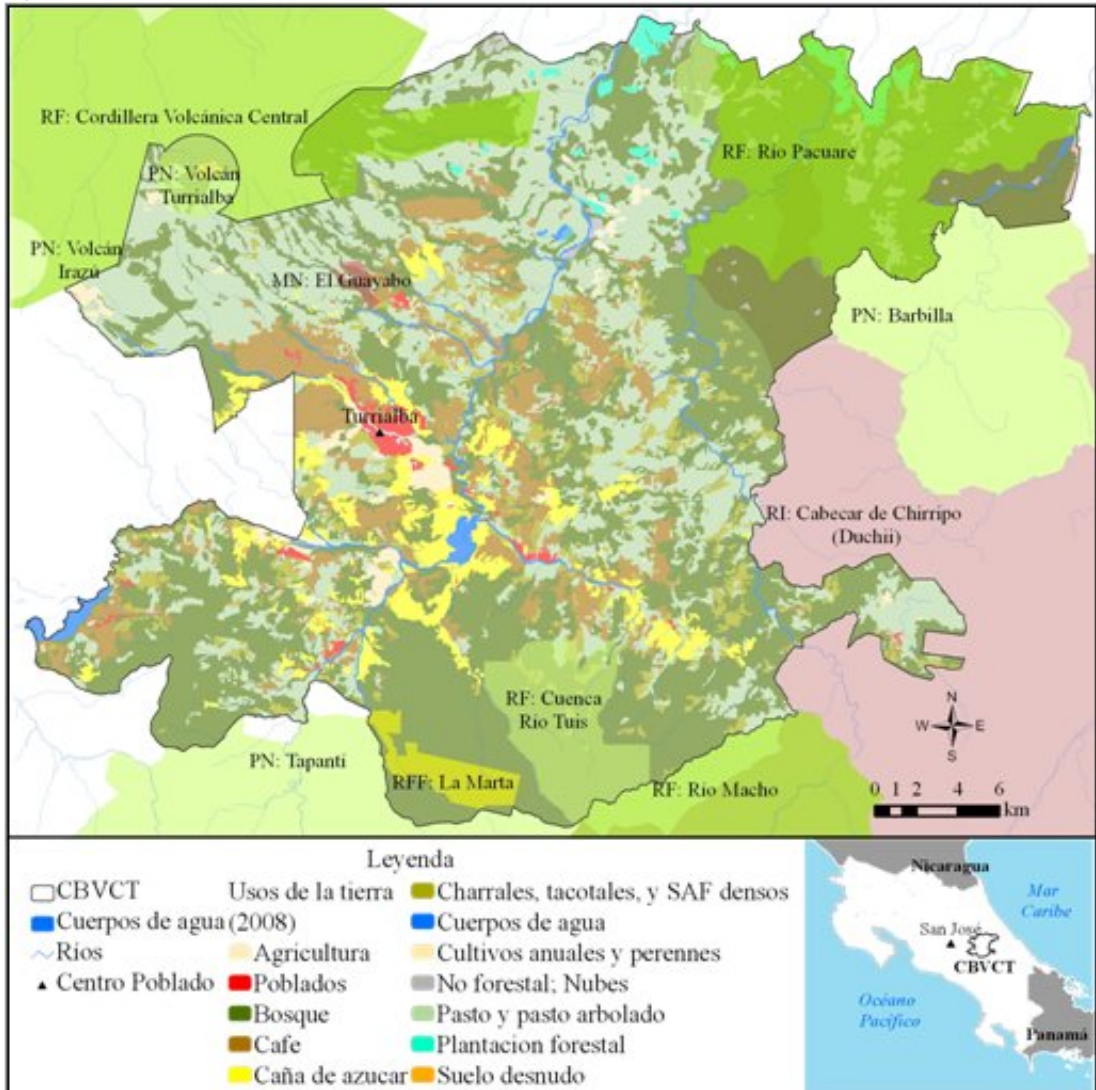
⁹ <http://www.nhm.ku.edu/desktopgarp/>

¹⁰ http://www.nrel.colostate.edu/projects/starmap/funconn_index.htm

2. Área de estudio

El presente estudio se lleva a cabo en el paisaje del Corredor Biológico Volcánica Central Talamanca (CBVCT) el cual abarca un área de 114,617 ha. Este corredor fue constituido por su importancia en la conectividad entre 9 áreas protegidas y una reserva indígena (Figura 18). La altitud del CBVCT va desde los 160 msnm en la desembocadura del río Reventazón hasta los 3,330 msnm en el Volcán Turrialba, con una precipitación promedio anual de 4,400 mm y una temperatura promedio anual de 21.4°C.

Figura 18. Área de estudio



Nota: Las áreas protegidas del área de estudio son: PN: Parque Nacional, RF: Reserva Forestal, MN: Monumento Nacional, RI: Reserva Indígena, RB: Reserva Biológica, ZP: Zona Protectora.

La cobertura boscosa alcanza un 52% del área del corredor, la cual fue caracterizada por Muirrieta (2006) en función a su composición, estructura, riqueza y diversidad florística, encontrando 5 tipos de bosques bien diferenciados por su composición florística. El segundo uso más predominante es “pasto y pasto arbolado”, el cual abarca un 24% del área del CBVCT. Este uso igualmente tiene una densidad de parche similar al de la cobertura boscosa, y es junto con bosque el que menor distancia al parche más cercano tiene. El tercer uso más predominante es el café el cual abarca el 8% del área (Cuadro 9).

Cuadro 9. Algunas métricas de paisaje del CBVCT.

Uso	Área (ha)	Área (%)	Parches (#)	Densidad Parches (Nº/100 ha)	Distancia al parche más cercano (m)		Desviación estándar al parche más cer- cano
					Promedio	Mediana	
Nubes	46	0	2		162	162	
Suelo desnudo	78	0	1		N/A	N/A	N/A
Agricultura	191	0	5		593	150	728
Asentamientos humanos	866	1	36	0.0	1,266	306	1,999
Plantación forestal	1,321	1	27	0.0	741	696	635
Cultivos anuales y perennes	1,514	1	54	0.1	739	247	904
Cuerpos de agua	1,903	2	45	0.0	436	108	1,332
No forestal	1,969	2	167	0.2	400	234	420
Caña de azúcar	4,802	4	111	0.1	369	120	753
Charrales, tacotales, y SAF densos	5,061	4	294	0.3	310	150	540
Café	9,685	8	254	0.2	212	108	253
Pasto y pasto arbolado	27,640	24	349	0.3	177	90	252
Bosque	59,410	52	381	0.3	146	90	130

3. Métodos

Para llevar a cabo la identificación de las áreas prioritarias para la conservación y conectividad de la biodiversidad, se eligieron tres especies de aves con requisitos ambientales diferentes, desde la más dependiente de bosque hasta la más generalista. Posteriormente a la selección de las especies, se modelaron los nichos ecológicos potenciales con la herramienta Desktop GARP para cada una de las especies seleccionadas. Esta modelación se realizó por la necesidad proponer o mejorar la conectividad para la especie dentro de su área de distribución potencial, ya que de lo contrario se estarían desperdiciando recursos y esfuerzos. Finalmente se modela la conectividad funcional con la herramienta FUNCONN la cual tiene en cuenta algunos requerimientos ecológicos de las especies y su capacidad de movilidad.

Este proceso de priorización o selección de áreas importantes para la conectividad y conservación de la biodiversidad, nos garantiza enfocar los esfuerzos económicos para restablecer la función principal del CBVCT donde realmente es importante hacerlo.

3.1. Selección de especies

Dentro del CBVCT está localizado el Centro de Investigación y Enseñanza – CATIE; donde a partir del año 2008 se comenzó la iniciativa de un Proyecto de Monitoreo de Aves (PMA) en los diferentes usos de la finca del CATIE. Su objetivo principal es monitorear el impacto que tiene la agricultura en las especies de aves residentes y migratorias. Los usos donde se establecen las redes son: pasturas, cacao, café agroforestal, caña de azúcar y bosque primario; con base en las observaciones realizadas en este monitoreo y con el apoyo de los investigadores de este programa se llevo a cabo la selección de especies de aves a trabajar. Los datos de presencia de las aves seleccionadas provienen por lo tanto de: Proyecto de Monitoreo de Aves (PMA) – CATIE; Partners in Flight; Programa Integral de Monitoreo de Aves de Tortuguero; San Vito Bird Club; Asociación Ornitológica de Costa Rica e InBio.

Se seleccionaron tres especies de aves terrestres, término aplicado a las aves de hábitos terrestres y de tamaño reducido, como las pertenecientes al orden passeriformes, utilizando dos criterios de selección. El primero está basado en aspectos relacionados con la biología de las especies, se buscó tener al menos tres especies con diferentes grados de dependencia del bosque y con una amplia distribución geográfica. El segundo criterio está basado en la información de captura disponible a partir del PMA (>20 registros) en CATIE y otras fuentes de información a nivel nacional. Este último aspecto fue considerado dada la necesidad de tener un número

mínimo de observaciones de las especies a modelar para el correcto funcionamiento de la herramienta de modelación de los nichos ecológicos potenciales.

Considerando lo anterior, se seleccionaron tres especies con diferentes grados de dependencia al bosque así como diferencias en su desplazamiento, escogiéndose así una especie migratoria del norte y dos especies residentes de todo el año; una de las cuales muestra dependencia hacia la presencia de bosque y otra de hábitos generalistas. Para la selección nos basamos en la clasificación de requerimiento de hábitat (Cuadro 10) realizada por Stiles (1985) para aves de Costa Rica y fue complementada con información de BirdLife International.

Cuadro 10. Especies seleccionadas con sus requerimientos de hábitat

Familia	Especie*	S	Tipos de bosque	Preferencia de hábitat	Grado de dependencia del bosque
Parulidae	<i>Dendroica pensylvanica</i>	M	TE, SE, TD	FC, FE, NF	2-3
Tyrannidae	<i>Mionectes oleagineus</i>	R	TE	FI, FE	2
Thraupidae	<i>Ramphocelus passerinii</i>	R	TE	NF	3

*Nombres de familias y nombres científicos de acuerdo a la American Ornithologist's Union (AOU). S:Status (M=migratoria, R=residente). Tipos de bosque: TD=tropical deciduo; TE=tropical siempre verde; SE=subtropical siempre verde. Preferencia de hábitat: FI=interior del bosque; FE=bordes de bosque; FC=dosel del bosque, NF=no bosque. Grado de dependencia del bosque: 2=necesita al menos parches de bosque; 3=no necesita del bosque.

Las clasificaciones realizadas por Stiles (1985) aunque fueron realizadas hace más de veinte años, sirven de base para la clasificación de las especies de Costa Rica ya que ha probado ser eficiente actualmente como se evidenció en los estudios de Taylor (2006) y Martínez-Salinas (2008).

La primera especie, *Dendroica pensylvanica* (Linnaeus, 1766), es una especie de amplia distribución con una ocurrencia estimada de 2,400,000 km². Estimaciones de su población han sugerido que alcanza 9,400,000 individuos. Por otro lado, y aún cuando su tendencia poblacional aún no ha sido cuantificada, no se cree que se encuentre en ningún peligro o condición vulnerable considerando los parámetros utilizados para la elaboración de la lista roja de la UICN (declinando en más del 30% en diez años y en tres generaciones) por lo que se le cataloga como una especie de menor preocupación (LC – por sus siglas en inglés) (Birdlife 2008). Pertenece a la familia Parulidae, que se caracteriza por incluir a especies pequeñas y restrictas a los continentes y las islas del nuevo mundo, desde el círculo Ártico hasta Argentina; la mayoría de las especies de esta familia que se reproducen en Norte América realizan migraciones hacia los trópicos durante la época no reproductiva (Stiles 1989). Es una especie migratoria bastante común durante los meses de migración, se reproduce en el sur de Canadá y el norte y este de los

Estados Unidos e inverte desde el sur de México hasta Panamá, ocasionalmente en Trinidad y Venezuela (Stiles 1989). Se alimenta principalmente de insectos pequeños, orugas y arañas, también puede alimentarse de algunos frutos como complemento de su dieta. Esta especie ha sido elegido en particular como representante de especies migratorias que ocupan el territorio Mesoamericano durante el invierno. Por las largas migraciones que hacen, existe mayor preocupación sobre el impacto de la fragmentación a nivel internacional sobre este fenómeno de migración (cita). Otros estudios han demostrado que las aves migratorias en particular son capaces de aprovechar de sistemas de café, particularmente agroforestales (PMA, comunicación personal, Komar etc) y que cumplen un papel importante en el control de plagas en estos cafetales (Philpott et al 2009). Estos factores contribuyen a la importancia de mantener sistemas agroforestales de café dentro de corredores biológico mesoamericanos y de entender el papel funcional que cumplen estos sistemas para proveer conectividad y hábitat para las reinitas

La especie *Mionectes oleagineus* (Lichtenstein, 1823) coincide con *D. pensylvanica* en ser una especie de amplia distribución; con una ocurrencia estimada de 9,000,000 km². El tamaño de la población a nivel global no ha sido aún cuantificado; sin embargo, no se cree que esta especie se acerque a los umbrales de poblaciones en declive considerados por la lista roja de la UICN (declinando en más del 30% en diez años y en tres generaciones). Por esta razón y según Birdlife International esta especie se encuentra en la categoría de menor preocupación (Birdlife 2008). Pertenece a la familia Tyrannidae que se considera la familia más grande confinada al hemisferio oeste en donde se encuentra distribuida ampliamente en continentes e islas, desde Alaska hasta la tierra del fuego (Stiles 1989). Es una especie residente de todo el año y su rango de distribución se extiende desde el sur de México hasta el oeste del Ecuador, Bolivia y la amazonia brasileña. Se alimenta principalmente de frutas aunque también puede complementarla con pequeños insectos y semillas ariladas. De las tres especies elegidas, esta especie está restringida a bosques y hábitat con cobertura boscosa. En este estudio, el *M. oleagineus* sirve como indicadora de especies dependientes de bosque.

Finalmente, la especie *Ramphocelus passerinii* (Bonaparte 1831), también de amplia distribución, se estima que ocurre en un área de 210,000 km². La población global aún no ha sido estimada, sin embargo al igual que *M. oleagineus* no se cree que se encuentre en ningún nivel de amenaza o vulnerabilidad considerando los criterios para la lista roja de la UICN. Por tal razón, Birdlife la considera una especie de menor preocupación (Birdlife 2008). Pertenece a la familia Thraupidae que en su gran mayoría están confinadas a las áreas de los trópicos y subtropicos del hemisferio oeste, incluyendo las Antillas. Su característica más llamativa es la amplia gama de colores y tonalidades que pueden observarse en los miembros de esta familia y que contribuyen grandemente a la coloración de la avifauna tropical. Es una especie residente de todo el año y su

rango de distribución se extiende desde el sur de México hasta el oeste de Panamá (Stiles 1989). Se alimenta principalmente de frutas e insectos.

Cuadro 11. Datos del PMA demostrando la preferencia de hábitat de las tres especies elegidas por este estudio.

Especies	Capturas (x/1589)	Bosque	Café Poro	Café Multiestrata	Cacao	Pastura	Caña
D. pensylvanica	35	0	11	14	8	0	0
M. oleagineus	84	43	17	15	7	2	0
R. passerini	33	0	3	12	0	11	7

Fuente: PMA, 2009

Los rangos altitudinales para la Tángara Lomiescarlata¹¹ (*R. passerini*), según Stiles y Skutch (1989) es desde los 1,200 msnm raramente hasta los 1,700 msnm; esta especie es residente del Caribe y de la zona sur del pacífico. Sin embargo esta especie fue encontrada en las parcelas del PMA las cuales se encuentran en promedio en una altura de 550 msnm (Turrialba cae bajo vertientes del caribe según Stiles). El Mosquerito aceitunado (*M. oleagineus*), según Stiles y Skutch (1989), es una especie residente común y abundante de las zonas bajas y pies de montes de la zona Caribe y zona pacífico. En la zona Caribe puede encontrarse hasta los 900 msnm y hasta los 1,200 en la zona pacífico, en donde raramente se le encuentra a una altura mayor. Finalmente la Reinita de Costillas Castañas (*D. pensylvanica*) según Stiles y Skutch (1989), es un especie migratoria común y abundante durante los períodos migratorios (mediados de septiembre, raramente finales de agosto, hasta principios de noviembre). Puede encontrarse en todo el país desde las zonas muy bajas hasta 1,850 msnm; ocasionalmente se ha observado a alturas mayores. Bastante común a excepción en la zona seca noroeste. Puede encontrarse hasta los 1,500 msnm en ambas zonas (Pacífico y Caribe).

¹¹ Nombres comunes de acuerdo a Stiles y Skutch (1989). También conocida en Costa Rica como Sargento, Rabadilla Tinta, Terciopelo y Sangre Toro.

Figura 19. Imagen y descripción de los requerimientos ambientales de las especies de aves *D. Pensylvanica*, *M. Oleagineus* y *R. passerinii*

Nombre:	<i>Dendroica pensylvanica</i>	
Status:	Migratoria	
Tipo de bosque:	Tropical siempre verde, subtropical siempre verde, tropical deciduo	
Preferencia de hábitat:	Bordes de bosque, dosel de bosque, no bosque	
Grado dependencia bosque:	Necesita al menos parches de bosque, no necesita del bosque	
Distribución geográfica:	Amplia distribución	
Población estimada:	9,400,000 individuos	
Ocurrencia estimada:	2,400,000 Km ²	
Nombre:	<i>Mionectes oleagineus</i>	
Status:	Residente	
Tipo de bosque:	Tropical siempre verde	
Preferencia de hábitat:	Bordes de bosque, interior de bosque	
Grado dependencia bosque:	Necesita al menos parches de bosque	
Distribución geográfica:	Amplia distribución	
Población estimada:	No cuantificada	
Ocurrencia estimada:	9,000,000 km ² .	
Nombre:	<i>Ramphocelus passerinii</i>	
Status:	Residente	
Tipo de bosque:	Tropical siempre verde	
Preferencia de hábitat:	No bosque	
Grado dependencia bosque:	No necesita del bosque	
Distribución geográfica:	Amplia distribución	
Población estimada:	No cuantificada	
Ocurrencia estimada:	210,000 Km ²	

Fotos: Martínez, A.

3.2. Modelación nichos ecológicos

Dentro del presente trabajo se incluyó la modelación del nicho ecológico como un paso intermedio en la identificación de las redes de conectividad, porque de esta manera se trazan las redes donde potencialmente la especie se encuentra, es decir, se identifican las áreas que la especie realmente va y puede utilizar. La modelación de los nichos ecológicos para cada especie se llevó a cabo con la herramienta DesktopGARP¹², la cual ha sido probada por diferentes autores, para diferentes especies, y en diferentes regiones; estos autores resaltan la excelente capacidad de esta herramienta para delinear el nicho ecológico y predecir las distribuciones geográficas de las especies (Raxworthy et al., 2003; Ortega-Huerta y Peterson, 2003; Toribio y Peterson, 2008; Anderson y Martínez- Meyer, 2003).

¹² <http://www.nhm.ku.edu/desktopgarp/>

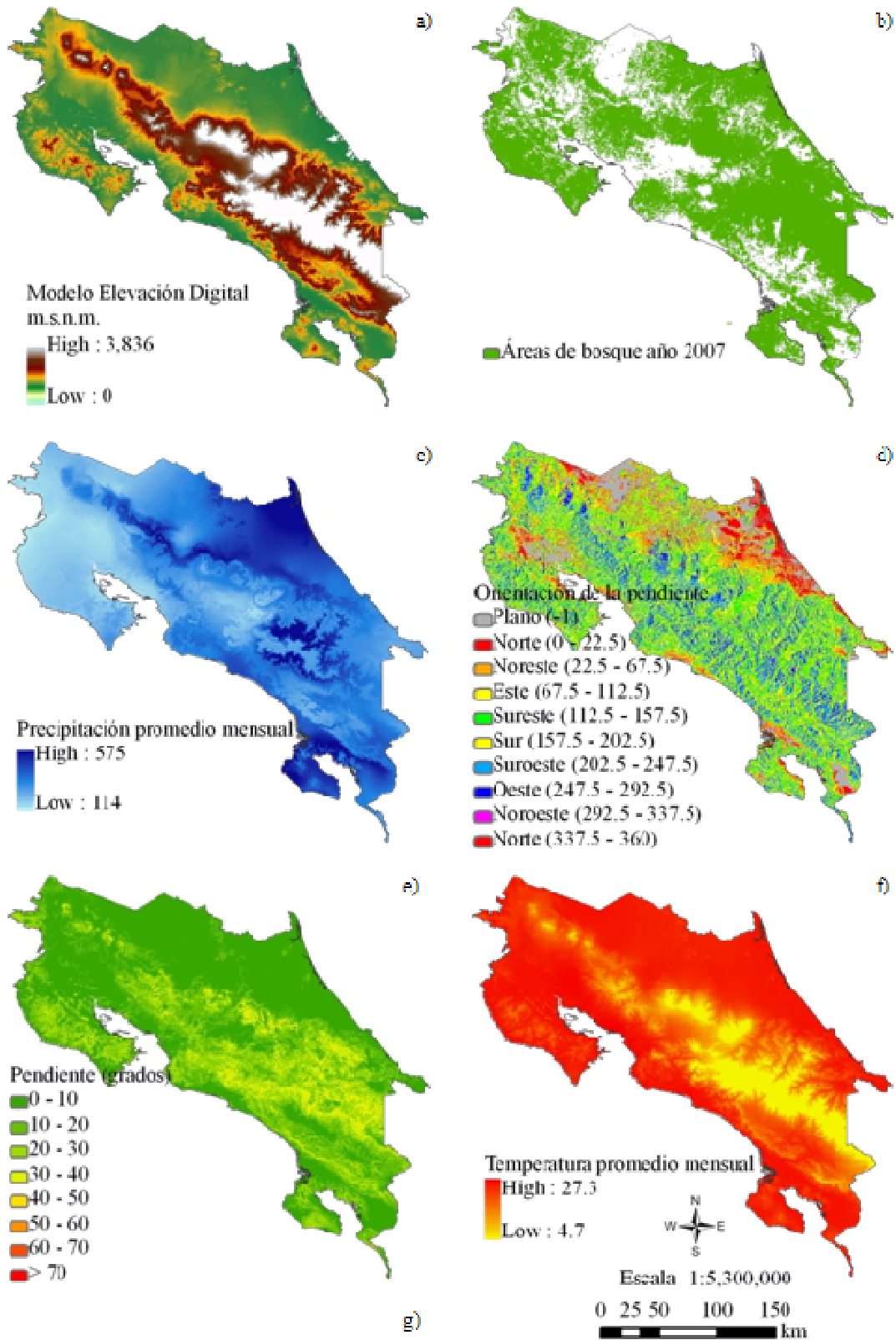
Se parte de la tradicional definición del nicho ecológico como el rango de condiciones ecológicas bajo las cuales una especie puede mantener la población sin inmigración (Grinnell, 1917), por lo tanto, por medio de la integración de los puntos de ocurrencia de la especie con diferentes capas (SIG) ambientales que representen las dimensiones del nicho, hace posible determinar las áreas claves con las condiciones ambientales óptimas para esa especie, y consecuentemente su nicho aproximado (Graham et al, 2004).

El GARP trabaja interactivamente en un proceso de selección de una regla, la evalúa, la prueba, e incorpora o rechaza: uno de los métodos es elegido de un grupo de posibilidades (regresión logística, reglas bioclimáticas y reglas categóricas) y aplicado a los datos de entrenamiento para finalmente que la regla sea desarrollada o creada (Ortega-Huerta y Peterson 2003, Feria y Peterson 2002 y Peterson et al 2006). Posteriormente el ajuste predictivo del modelo es evaluado con base en los datos de prueba y con los datos de toda la región para detectar las pseudoausencias. La suma o la unión de los datos de prueba y los datos de entrenamiento son el total de ocurrencias de la especie.

En el presente trabajo se identificaron los nichos ecológicos de las especies *M. oleagineus*, *R. passerini* y *D. pensilvanica*, con base en las variables ambientales: cobertura boscosa (2005), precipitación, temperatura, elevación, pendiente, aspecto (Figura 20). Los datos de presencia de las especies a nivel nacional son el resultado de distintos esfuerzos de monitoreo y muestreo a lo largo del tiempo por parte de las organizaciones Proyecto de Monitoreo de Aves (PMA) – CA-TIE; Partners in Flight; Programa Integral de Monitoreo de Aves de Tortuguero; San Vito Bird Club; Asociación Ornitológica de Costa Rica e InBio.

Para el presente estudio se generaron 50 modelos para cada especie, de los cuales el programa seleccionó los cinco mejores modelos (best subsets) con base en la distribución óptima del error para cada modelo generado; estos cinco modelos seleccionados son: a) los que tienen un menor error de omisión, b) el valor del área predicha más cercano a la mediana del área de los “best subsets” y c) finalmente un p-value < 0.005. Estos modelos, son generados en formato raster binario donde 0 es la ausencia y 1 es la presencia de la especie, para este estudio se usó el área delimitada por la sumatoria de los cinco mejores modelos para cada una de las especies trabajadas.

Figura 20. Variables que se utilizaron en la modelación de nichos ecológicos de las tres especies elegidas a) Elevación, b) Áreas de bosque 2007, c) Precipitación promedio mensual, d) Orientación de la pendiente, e) Zonas de vida, f) Temperatura promedio mensual, g) Pendiente en grados.



Fuente: a), d), e) y g) Imbach (2006); b) Atlas de CR (2004); c) y f) Hijmans et al. (2005);

Los datos de ocurrencias de las especies seleccionadas fueron un total de 1,291 registros, esta información fue depurada para dejar sólo datos de presencia y remover las repeticiones de especie por localidad (igual coordenadas X y Y). Los datos finales con los que se trabajó la modelación corresponde a un 31% de los registros iniciales a nivel nacional (Cuadro 12). Es importante recalcar que la cantidad de registros utilizados están muy por encima de la cantidad mínima evaluada por Stockwell y Peterson (2002) de diez datos para alcanzar un ajuste mínimo en la predicción del 90%.

Cuadro 12. Registros a nivel nacional de las especies seleccionadas.

Spp	Número de registros por fuente de información			Total registros	Total usados
	InBio	PartnersInFly	PMA		
<i>Dendroica pensylvanica</i>	2	501	19	522	169
<i>Mionectes oleagineus</i>	3	340	47	390	113
<i>Ramphocelus passerinii</i>	3	349	27	379	114
Total	8	1,190	93	1,291	396

3.3. Conectividad funcional

La planeación de los usos de la tierra y de la conservación, requiere que se entienda la conexión entre los patrones del paisaje y las dinámicas de las poblaciones en ese paisaje, para lo cual, la teoría sugiere también que se debe comprender el movimiento y la dispersión para alcanzar esto (Kareiva & Wennergren, 1995; Morales & Ellner, 2002). Levey et al (2005) demostró que a nivel de paisaje los hábitats de los corredores incrementan sustancialmente el movimiento de las aves y la dispersión de semillas entre parches conectados. Ellos igualmente demostraron que la conectividad funcional de los corredores se extiende más allá de la provista por la conectividad estructural.

Por lo tanto, se eligió en el presente trabajo identificar las redes de conectividad funcional asociada a las características de las especies seleccionadas y a sus requerimientos ambientales, este es el último paso de la metodología propuesta para la priorización de áreas para la conservación y conectividad de la biodiversidad.

La modelación de la conectividad funcional se llevó a cabo con la extensión FUNCONN; extensión utilizada por Gil de Lamadrid (2008) en Honduras para modelar la conectividad de los generos *Icterus*, *Dendroica* y *Trogon*. FUNCONN trabaja sobre la plataforma del ArcGIS 9.1, y

es una iniciativa del proyecto STARMAP¹³ (Space – Time Aquatic Resources Modeling and Analysis Program). Esta extensión modela la conectividad funcional a partir de la teoría gráfica, la cual permite unir los procesos poblacionales (dispersión, reclutamiento) con los patrones del paisaje (parche, tamaño, forma y ubicación) para llegar a procesos basados en medidas de conectividad, tanto a nivel de parche como de individuo (Hanski 1998 citado en Urban & Keitt, 2001).

El FUNCONN es una herramienta que lleva a cabo varios pasos intermedios antes de identificar o seleccionar las redes de conectividad funcional. El primer paso es la calificación de la calidad del hábitat para la especie modelada, para posteriormente identificar los parches funcionales, es decir, las áreas o los parches que la especie puede ocupar o utilizar para su movilidad; finalmente crea las redes de conectividad a partir de los parches funcionales, cada uno de los insumos y requerimientos para llevar a cabo esta selección de áreas será descrito en la siguiente sección.

3.3.1. Calidad del hábitat

El análisis calidad de hábitat se genera a partir de la siguiente información (Theobald et al, 2006):

- Usos del suelo (Raster): En el presente trabajo se utilizaron los levantados por Brenes y Ramos (2009) a partir de una imagen Aster 2008 por medio de una clasificación por segmentación y con una corrección visual a una escala 25,000 (Figura 18; Cuadro 13). Para el caso de categorías como “no forestal” y “nubes” de la capa de usos, se asumieron por principio precautorio los valores más restringidos para la movilidad o aprovechamiento del hábitat para cada especie.
- Calidad del recurso (Cuadro .dbf): Calificación para cada uso según los recursos que brinda a la especie trabajada (0 = no hábitat a 100 = hábitat óptimo). La calificación de cada hábitat para las tres especies se generó con base en la descripción de Stiles y Skutch (1989), además de la calificación generada independientemente por dos especialistas de aves con amplio conocimiento en el comportamiento de las especies. Posteriormente, la calificación fue promediada para establecer el valor final de calidad de hábitat por uso. En el momento de la calificación, se asumieron algunos preceptos debido a la amplitud de la calificación de usos del suelo. Para el caso se la caña, ase asumió como un monocultivo sin parches de bosque cercanos (100m); principalmente porque en el PMA se ha identificado el efecto en cuanto a diversidad y riqueza de especies de aves, en áreas de caña con un parche aledaño (Martínez y De Clerck, cp). El cultivo del

¹³ http://www.nrel.colostate.edu/projects/starmap/funconn_index.htm

café, se asumió que todas estaban bajo sistemas agroforestales favorables para la conservación y conectividad de la biodiversidad, sin embargo, Llanderal y Somarriba (1999) identificaron en su investigación cuatro tipos de fincas para el distrito de Turrialba: 1) cafetales de baja densidad y manejo intensivo, 2) cafetales diversificados y con manejo intensivo, 3) cafetales diversificados con manejo intermedio y 4) cafetales de manejo deficiente. Igualmente para el pasto se está asumiendo como un sistema silvopastoril con una alta densidad de arboles (10 arb/ha).

Cuadro 13. Clasificación de la calidad del hábitat para cada especie

Clasificación de los usos de la tierra (2008)	Calidad del hábitat		
	<i>D. pensylvanica</i>	<i>M. oleagineus</i>	<i>R. passerinii</i>
Agricultura	0	0	20
Asentamientos humanos	5	0	0
Bosque	90	100	85
Café	87.5	72.5	90
Caña de azúcar	5	4	15
Charrales, tacotales, y SAF densos	70	50	87.5
Cuerpos de agua	0	0	0
Cultivos anuales y perennes	5	1	30
No forestal	0	0	0
Nubes	0	0	0
Pasto y pasto arbolado	42.5	40	84
Plantación forestal	20	7.5	30
Suelo desnudo	0	0	0

- Área mínima del parche: Este valor puede ser establecido a partir de ámbitos de hogar conocidos o por estimaciones con ecuaciones alométricas. En el presente trabajo se utilizó la ecuación propuesta por Theobald y Hobbs (1999). Esta ecuación nos puede dar una idea de la capacidad de movimiento de la especie (Cuadro 14), sin embargo, hay que tener presente que este valor puede variar y debe ser corroborado con información en campo, ya que en otros estudios, como el llevado a cabo por Moore et al (2008) reportaron valores superiores de desplazamiento al estimado con la ecuación (61.5m) para el *M. oleagineus* donde alcanza un desplazamiento de hasta 300 m.

Cuadro 14. Ecuaciones alométricas de rango de hogar y umbral de la calidad del hábitat

Especie	I = Área forrajeo (Km ²)	R= Radio de forrajeo (km)	Umbral de la calidad del hábitat
	$I = 1.166M^{1.062}$	$R_r = \left(\frac{I}{3.1415} \right)^{\frac{1}{2}}$	
<i>D. pensylvanica</i>	0.0082	0.0511	60
<i>M. oleagineus</i>	0.0119	0.0615	70
<i>R. passerinii</i>	0.0265	0.0919	50

Nota: Fuente ecuaciones: Theobald y Hobbs (1999).

- Umbral de la calidad del hábitat: Este es el valor mínimo de calidad del hábitat que el organismo utilizará o definirá como parche. El valor establecido (Cuadro 14), será utilizado para identificar los parches o “stepping stones” con la calidad adecuada, sin embargo, los que estén por debajo del umbral no serán eliminados del análisis, ya que después serán analizados de acuerdo a las distancias de los parches funcionales identificados con base en la Cuadro de estructura del parche.
- Estructura del parche (Cuadro .dbf): Calificación de acuerdo a la afinidad o comportamiento de la especie en las áreas de bordes de los parches y en los núcleos (Cuadro 15). Para cada especie se definió el comportamiento de acuerdo a la descripción de Stiles y Skutch (1989) y a la información de los especialistas. El valor de cero es asignado en las áreas donde no hay hábitat es decir donde no se encontrará la especie y el valor de 100 se mantendrá por fuera del parche de acuerdo al rango de movimiento de la especie, esto permite involucrar en el análisis los “stepping Stone”.

Cuadro 15. Clasificación estructura del parche para cada especie

Preferencia de hábitat	<i>D. pensylvanica</i>	<i>M. oleagineus</i>	<i>R. passerinii</i>
	FC, FE, NF	FI, FE	NF
Radio Forrajeo (m)	51.06	61.47	91.92
-99999999	100	100	0
-200	100	100	0
-150	100	80	10
-100	100	60	20
-80	100	50	40
-60	100	45	60
-40	80	40	80
-20	70	35	100
0	60	30	100
20	100	100	100
40	100	80	100
60	100	60	100
80	80	40	100
100	60	20	100
150	50	0	100
200	40	0	100
250	30	0	80
300	20	0	60
350	10	0	40
400	0	0	20
500	0	0	10
1000	0	0	0
99999999	0	0	0

Nota: Preferencia de hábitat: FI=interior del bosque; FE=bordes de bosque; FC=dosel del bosque, NF=no bosque. Grado de dependencia del bosque: 2=necesita al menos parches de bosque; 3=no necesita del bosque. Distribución geográfica: C=amplia distribución (Stiles y Skutch 1989).

- Perturbaciones (Cuadro .dbf y raster): Esta información involucra la limitante de movilidad de la especie ante barreras como las vías, áreas agrícolas de alto impacto,

centros poblados, entre otros. El raster es una incorporación a los usos de suelo, aquellas áreas que son categorizadas como barreras. La Cuadro es una relación de la dificultad de movilidad a cierta distancia de la barrera. En el presente estudio se trabajó con las vías, diferenciadas cómo principal, secundaria y terciarias (**Cuadro 16**).

Cuadro 16. Perturbaciones y dificultad de movilidad para cada especie.

Distancia (m)		<i>M. oleagineus</i>			<i>D. pensylvanica</i>			<i>R. passerinii</i>		
Desde	Hasta	1ria	2ria	3ria	1ria	2ria	3ria	1ria	2ria	3ria
-99999999	0	0	0	0	0	0	5	0	5	10
0	10	0	0	0	0	5	10	5	10	20
10	20	0	0	0	0	10	15	15	20	30
50	30	0	0	15	5	20	20	30	40	50
100	40	5	10	30	10	30	30	50	60	70
200	50	10	20	45	15	40	40	70	80	90
300	60	15	30	60	25	60	60	90	100	100
400	70	20	40	75	40	80	80	100	100	100
500	80	30	50	90	60	100	100	100	100	100
600	90	40	60	105	80	100	100	100	100	100
700	100	50	70	120	100	100	100	100	100	100
800	120	60	80	135	100	100	100	100	100	100
900	140	70	90	150	100	100	100	100	100	100
1000	160	80	100	165	100	100	100	100	100	100
2000	180	100	100	100	100	100	100	100	100	100
3000	200	100	100	100	100	100	100	100	100	100
4000	220	100	100	100	100	100	100	100	100	100
5000	99999999	100	100	100	100	100	100	100	100	100

Nota: 1ria: Vía principal pavimentada; 2ria: Vía sin pavimentar cantonal; 3ria: Vía sin pavimentar veredal.

3.3.2. Parches funcionales

Esta herramienta define los parches funcionales con base en los requerimientos mínimos de forrajeo de las especies trabajadas y su habilidad para moverse entre parches. Esta delimitación se logra a partir del raster de calidad del hábitat, del área mínima del parche, del radio de forrajeo y del umbral de calidad del hábitat (Cuadro 14).

3.3.3. Construcción de la red de conectividad

Esta red representa la conectividad entre parches, donde los parches funcionales son los que representan las zonas “Fuente” y el paisaje o los diferentes usos la superficie de resistencia. Para crear este componente se establecieron los valores de permeabilidad para cada uso teniendo en cuenta la descripción de Stiles y Skutch (1989) y a la información de los especialistas (Cuadro 17)

Cuadro 17. Clasificación de la permeabilidad de los hábitats para cada especie

Clasificación de los usos de la tierra (2008)	Permeabilidad		
	<i>D. pensylvanica</i>	<i>M. oleagineus</i>	<i>R. passerinii</i>
Agricultura	0.05	0	0.35

Clasificación de los usos de la tierra (2008)	Permeabilidad		
	<i>D. pensylvanica</i>	<i>M. oleagineus</i>	<i>R. passerinii</i>
Asentamientos humanos	0.05	0	0.05
Bosque	0.95	1	0.85
Café	1	0.9	1
Caña de azúcar	0.1	0	0.35
Charrales, tacotales, y SAF densos	1	0.825	1
Cuerpos de agua	0	0	0
Cultivos anuales y perennes	0.375	0.15	0.575
No forestal	0	0	0
Nubes	0	0	0
Pasto y pasto arbolado	0.6	0.5	0.875
Plantación forestal	0.25	0.15	0.8
Suelo desnudo	0	0	0

3.3.4. Modelación de diferentes paisajes

Con el fin de evaluar la importancia de las áreas de café y la estabilidad de la red bajo diferentes escenarios se modelan las redes asumiendo:

- **Escenario 1:** Distribución actual de usos

Esta será la línea base o el estado actual de los usos de la tierra, a partir de esta información se delimitarán los corredores o redes necesarios para establecer la conectividad al 2008 principalmente del *M. oleagineus*.

- **Escenario 2:** Disminución de la permeabilidad en las áreas de pasto

La información cartográfica actual de los usos de suelo del CBVCT (2008), tiene delimitado en una sola categoría de uso lo que son los pastos y los pastos arbolados. Sin embargo, dentro del corredor hay una buena proporción de área de pasto a pleno sol, es por esto que se modela este escenario, donde se restringe aun más la movilidad de la especie por estas áreas de pasto partiendo del principio precautorio.

- **Escenario 3:** Cambio de las áreas de café en áreas de pasto y pasto arbolado

Esta tendencia de cambio es la más frecuente dentro del corredor durante los últimos años, por lo tanto se quiere evaluar el aporte de las áreas actuales de café en la conectividad dentro del CBVCT.

- **Escenario 4:** Cambio de las áreas de pasto y pasto arbolado en áreas de café:

Con este escenario se quiere evaluar el impacto que tienen las áreas de café versus otros usos del corredor para mantener la conectividad. Siendo el principal uso de cambio es importante evaluar eso como afectara la movilidad en el paisaje para el MO.

3.3.5. Rutas de conectividad estructural y funcional en el CBVCT

Murrieta (2006) estableció para el CBVCT una red de conectividad estructural seleccionando los núcleos prioritarios a conectar a través de la ponderación de algunas variables; las variables que se tuvieron en cuenta son: pendiente, distancia a caminos, distancia a ríos, área interior y tipos de bosque. Posterior a la selección de los núcleos se trazó la red con base en la ruta del menor costo. En esta delimitación de las rutas se tuvo una fricción para cada uso. Este trabajo a partir de la identificación de estas áreas de conectividad sirvió de base para comenzar el proceso de organización y gestión del comité gestor del CBVCT, comenzando la delimitación de los subcorredores para su mejor manejo y administración (Jiménez, 2009 conversación).

En el presente trabajo se propone una delimitación de áreas importantes para la conectividad específicamente para una especie dependiente de bosque. Como se mencionó, esto se define a partir de la capacidad de dispersión de la especie, sus requerimientos biológicos y la estructura y composición del paisaje. La sobreposición de ambos métodos para priorizar áreas importantes en la conservación y conectividad de la biodiversidad permite evidenciar las diferencias y complementariedad entre los conceptos de conectividad estructural y funcional.

4. Resultados

4.1. Modelación nichos ecológicos

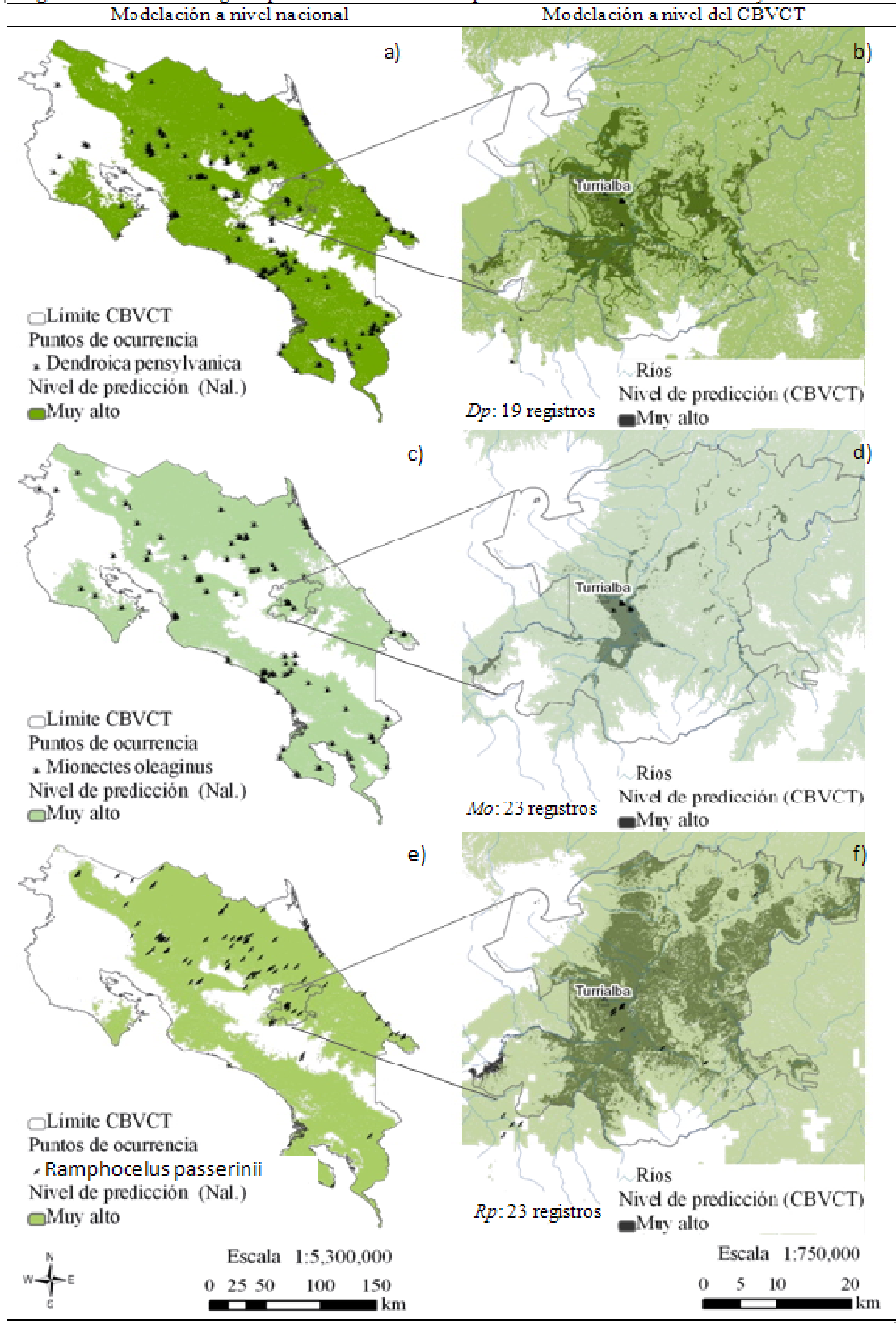
En todo proceso de modelación se asume cierto error de ajuste o de predicción, por lo tanto es importante garantizar durante el proceso de modelación la mayor fidelidad y calidad de los datos, además de conocer el comportamiento de la especie para poder identificar las fallas o desfases del modelo que se generan. Es por este motivo que en el presente estudio se llevó a cabo la modelación con el GARP a diferentes escalas: a nivel nacional y a nivel del CBVCT, con el fin de verificar lo reportado por Fera & Peterson (2002) sobre el mejor ajuste y predicción de los modelos a escalas nacionales o continentales, que a escalas locales. Para el caso de ambas modelaciones se evidencia claramente en la Figura 21 el efecto del sesgo que se puede obtener con un bajo número de registros y con una concentración de los mismos en una zona. Cuando se habla de la modelación a nivel nacional se habla que la extensión del área de estudio es todo CR, es decir, tanto las variables ambientales como los puntos de ocurrencia abarcan todo el país (**Figura 21a**, c, y e). Estos modelos tienen mejor ajuste por la cantidad de datos de ocurrencia y por su distribución a lo largo y ancho de todo el país. Cuando se trabajó a nivel de corredor, las variables y los datos de ocurrencia fueron recortados de acuerdo al límite del CBVCT (**Figura 21b**, d, y f). En esta extensión, la cantidad de datos de ocurrencia son menores, además que se encuentran concentrados en el área donde está establecido el PMA. Esta concentración de los

puntos de ocurrencia de las especies, genera modelos o delinea nichos ecológicos no tan ajustados a la realidad de los requerimientos de la especies. En la **Figura 21** en la columna de la derecha se traspone los nichos delimitados a nivel nacional (verde claro) y a nivel del corredor (verde oscuro), lo que nos permite visualizar la diferencia entre ambas escalas.

Con la especie que más se evidencia esta diferencia en el ajuste de los modelos y el efecto de la cantidad y distribución de los puntos de ocurrencia en todo el área de estudio es el *M. oleagineus* (Figura 21d), el cual, cuando se modela a nivel de corredor aparentemente tienen una preferencia o distribución por los bosques riparios, sin embargo, este no es el hábitat más propicio para esta spp. Martínez (2008) en su estudio en Matigües sólo hizo una de 830 capturas de esta especie en bosque ripario. Este desfase, se presenta principalmente porque los datos del *M. oleagineus* a nivel de corredor están concentrados en una sola zona (finca CATIE), donde la mayoría de los datos están cercanos a un río, por lo tanto el GARP al ser un programa de aprendizaje y de reglas, identifica este hábitat como el más apto, ratificando la importancia de corroborar los resultados de la modelación.

Para este estudio, se seleccionaron los nichos ecológicos potenciales modelados con la información a nivel de Costa Rica para las tres especies para después hacer un acercamiento a nivel del CBVCT. Dentro del Corredor Biológico Volcánica Central Talamanca con un área de 114,617 ha, aproximadamente un 80 % (93 ha) es potencial para el nicho ecológico el *Mionectes oliaginus*; un 89 % (103ha) para el *Ramphocellus passerini* y finalmente un 91% (104,068 ha) para el *Dendroica pensylvanica*

Figura 21. Nichos ecológicos potenciales delineados a partir de datos de todo Costa Rica y del CBVCT.



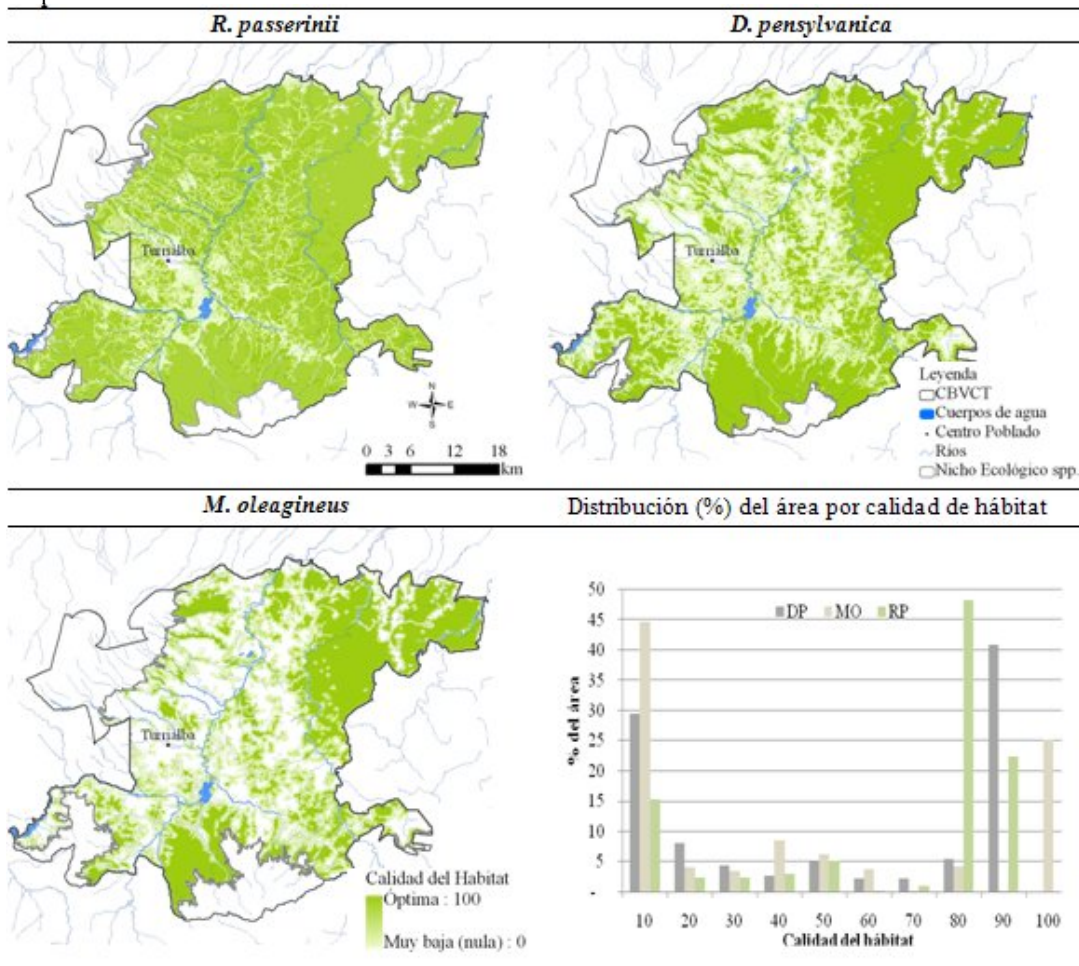
4.2. Conectividad funcional

La conectividad funcional, se trabaja a partir del área que delimita los nichos ecológicos potenciales para cada especie, identificados en el paso anterior. Es por este motivo que en la Figura 22 se puede evidenciar que dentro del CBVCT hay otro límite que varía de acuerdo a la especie, el cual corresponde al nicho ecológico potencial.

4.2.1. Calidad del hábitat

Con base en los umbrales de calidad del hábitat establecidos para cada especie y en el área total de los nichos ecológicos, se identifica que el *Ramphocellus passerini* cuenta con un 72% del área con hábitat de óptima calidad, mientras que el *Dendroica pensylvanica* cuenta con un 48% y el *Mionectes oliginus* con un 29% como se puede evidenciar en la Figura 22. Es importante tener presente que las áreas seleccionadas de óptima calidad son aquellas que la especie puede utilizar y aprovechar en un 100 %.

Figura 22. Calificación del paisaje del CBVCT de acuerdo a su calidad de hábitat para cada una de las especies.



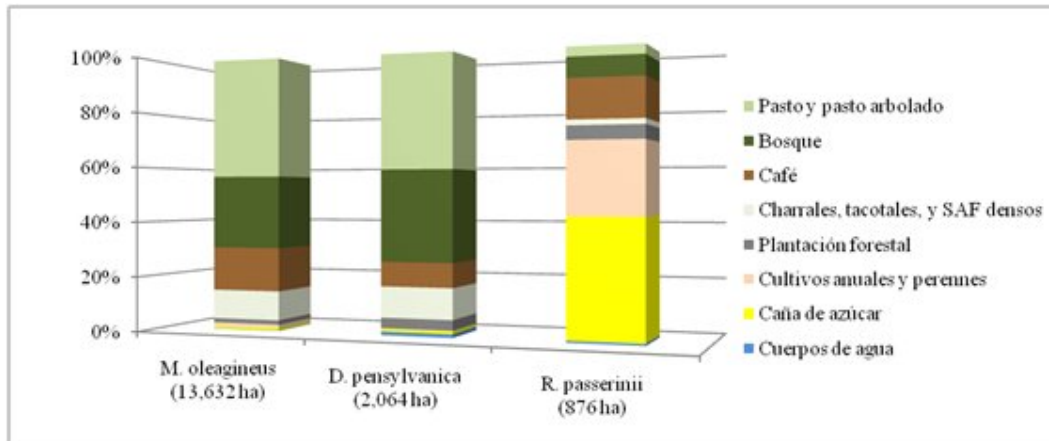
4.2.2. Parches funcionales y corredores

La percepción del hábitat para cada especie es evidentemente diferente (**Figura 25**), donde el *R. passerinii* encuentra que un 85% del área es delimitada como parches funcionales, lo que está asociado principalmente a sus requerimientos biológicos (especie generalista) y a su capacidad de dispersión (especie con mayor rango), sin embargo, para el *M. oleagineus* es diferente, ya que sólo cuenta con el 37% del área como parches funcionales y además, con el menor tamaño promedio de dichos parches (70 ha). El *D. pensylvanica*, es una especie con un comportamiento intermedio, donde el 40 % del área está identificada como parches funcionales. Estos son los parches funcionales son las áreas que la especie puede utilizar para vivir, para moverse o para otras actividades y es a partir de estos parches funcionales que se trazan las redes o corredores de conectividad

El *M. oleagineus* es la especie con mayor área y número de corredores (Figura 6), de los cuales el 44% del área se encuentran sobre la categoría de uso “pasto y pasto arbolado”; siguiendo con un 15% sobre las áreas de café. Las áreas de bosque dentro de los corredores son las segundas más importantes (27%); sin embargo, hay que tener en cuenta que cuando se trazan los corredores estos se hacen desde los parches funcionales los cuales no coinciden completamente con los bordes de los nichos, algunas veces siendo mayores o menores. Esto se debe principalmente a todos los factores tenidos en cuenta en la modelación los cuales encuentran realmente el área efectiva para cada especie, haciendo por lo tanto que los corredores sean trazados sobre áreas de bosque.

Los corredores delimitados para la movilidad del *D. pensylvanica* tienen una distribución de usos similar a la del *M. oleagineus* (Figura 6), sin embargo el área que de estos corredores es aproximadamente siete veces más pequeña que la delimitada para el *M. oleagineus*, mientras que las delimitadas para el *R. passerinii* llegan a ser aproximadamente 16 veces más pequeña, localizados principalmente en el área central de corredor, donde mas fragmentado y diverso es el paisaje.

Figura 23. Distribución porcentual de los usos de la tierra por especie de las áreas de los corredores delimitados.



La alta proporción de corredores delimitados especialmente para el *M. oleagineus* sobre áreas de pasto y pasto arbolado, se debe principalmente a dos motivos: el primero es que este es el segundo uso más predominante en el paisaje (24%) y segundo a que es el uso que más colinda con las áreas de bosque. Caracterizando los usos a una distancia de 100m, 250m, 500m y 750m del perímetro de las áreas de bosque, se identifica que casi el 50% colinda con pastos; mientras que el café tiene una proporción del 13% a los 100m y 17% a los 750m (Figura 24).

Figura 24. Distribución porcentual de los usos de la tierra a las distancias de 100m, 250m, 500m y 750m del borde de las áreas de bosque

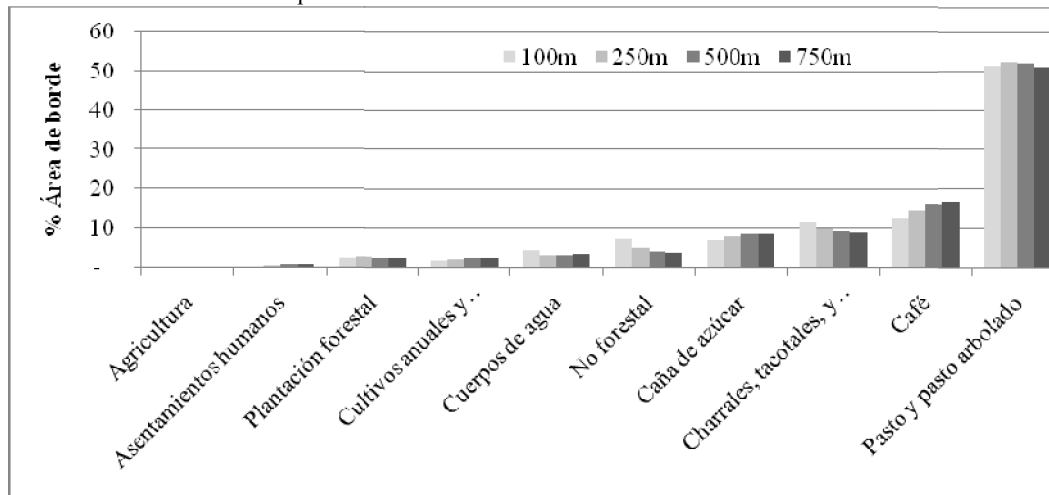
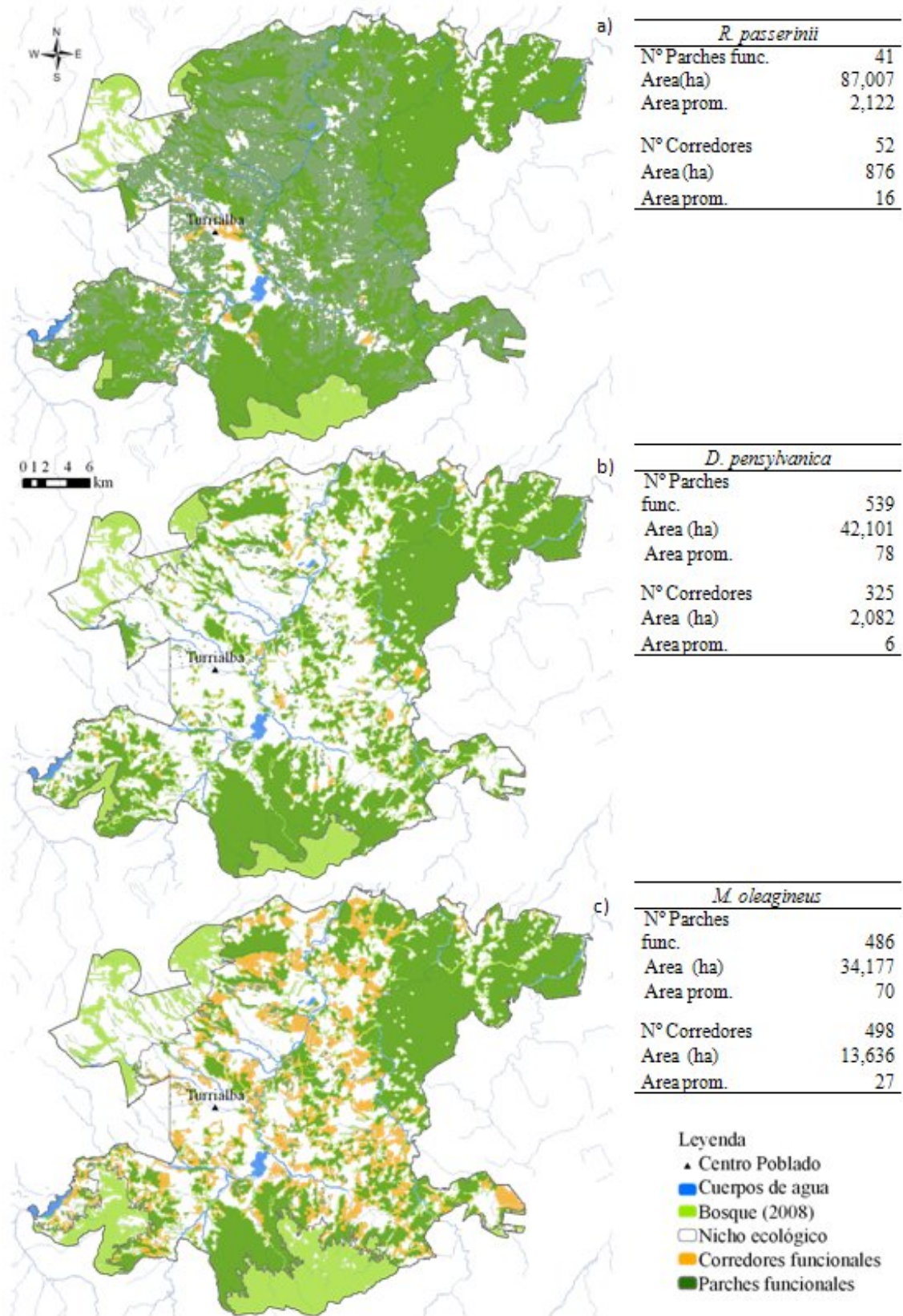


Figura 25. Delimitación de los parches funcionales y corredores para a) *R. Passerini*, b) *D. Pensylvanica* y c) *M. oleagineus*.



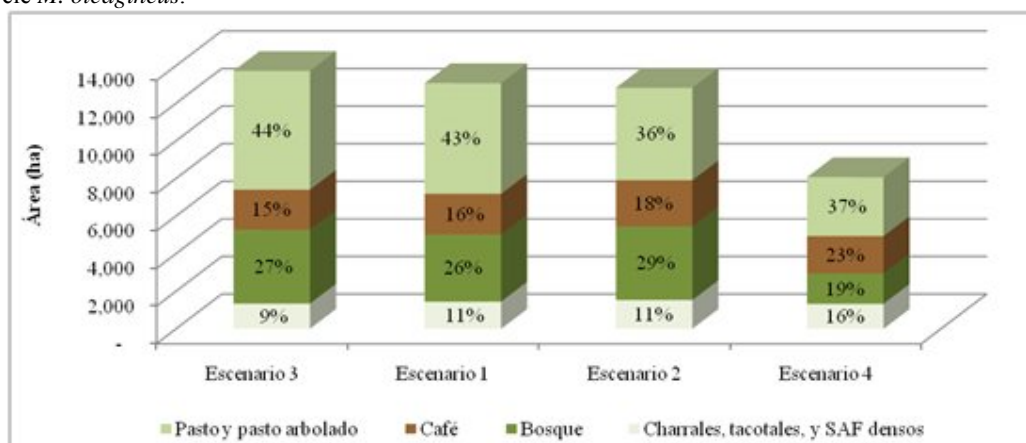
4.2.3. Modelación de diferentes escenarios de cambio del paisaje

Con estos escenarios, se evidencia la importancia del cultivo del café dentro del CBVCT como sistema productivo que beneficia y proporciona mejor conectividad para el *M. oleagineus*. Este uso, aumenta el área de parches funcionales en un 42% cuando se simula un cambio de la totalidad de las áreas de pasto y pasto arbolado por áreas de café; disminuyendo el área necesaria para establecer la conectividad en un 37%. En el escenario 3, cuando se simula un cambio de las áreas de café a pastos y pastos arbolados se tiene una disminución en los parches funcionales y por lo tanto, la cantidad y área de los corredores es mayor, siendo el escenario con más área y tamaño promedio de los corredores necesarios para establecer la conectividad. Entre el escenario 1 y 2 (actual y menor permeabilidad en las áreas de pasto y pasto arbolado), solo hay una diferencia en el aumento del área de café sobre el cual están delimitados los corredores (Cuadro 18). Entre ambos escenarios, la distribución proporcional de los diferentes usos sobre los cuales se delimitan los corredores es similar, evidenciando no solamente el efecto de la alta proporción de pastos y pastos arbolados en el CBVCT (Figura 26) sino también la importancia de la localización y distribución en el paisaje de los parches funcionales a partir de los cuales se trazan las redes. Esta ubicación de los parches y las distancias de los parches, son los que delimitan estructuralmente las redes que pueden ser trazadas para conectarlos.

Cuadro 18. Cantidad, áreas totales y promedios de los diferentes escenarios para el *M. oleagineus*.

	Escenario 1	Escenario 2	Escenario 3	Escenario 4
Parches funcionales (#)	486	486	369	561
Área parches funcionales (ha)	34,177	34,177	32,119	48,626
Área promedio parches funcionales (ha)	70	70	87	87
Nº Corredores	498	528	390	1,298
Área corredores (ha)	13,636	13,491	14,350	8,568
Área promedio corredores (ha)	27	26	37	7

Figura 26. Área y distribución de los usos para cada escenario de paisaje para la conectividad de la especie *M. oleagineus*.

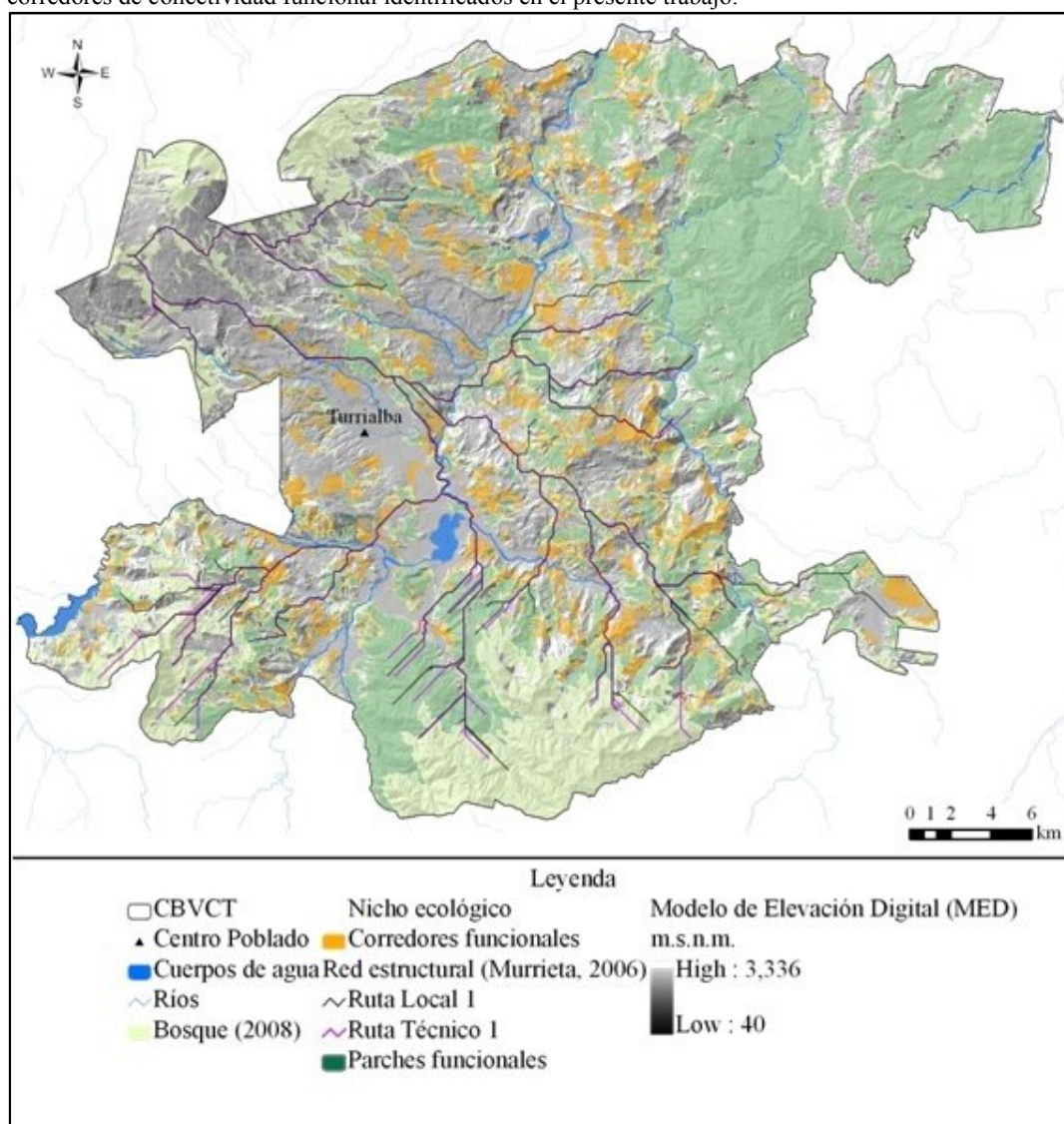


Nota: Escenario 1: Distribución actual de usos; Escenario 2: Disminución de la permeabilidad en las áreas de pasto; Escenario 3: Cambio de las áreas de café en áreas de pasto y pasto arbolado y Escenario 4: Cambio de las áreas de pasto y pasto arbolado en áreas de café

4.2.4. Rutas de conectividad estructural y funcional en el CBVCT

La conectividad estructural claramente tiene un fuerte énfasis en establecer la movilidad del sureste del corredor con el noreste, sin embargo, es importante identificar como barreras naturales pueden dificultar esta movilidad, como lo es el río Reventazón. Para la conectividad funcional (Figura 27), no hay una linealidad en las rutas, sin embargo, se evidencia una mayor importancia no sólo en conectar los extremos del corredor, sino cada vertiente que lo compone y que está separado por el relieve. A pesar de esta diferencia entre ambas rutas de conectividad, hay una tendencia general en conectar los parches funcionales o los núcleos prioritarios de bosque, sin embargo con la conectividad funcional, se pueden tener mejores herramientas para la priorización de áreas importantes para mantener y garantizar esta conectividad.

Figura 27. Comparación entre las rutas de conectividad estructural trazadas en el 2006 por Murrieta y los corredores de conectividad funcional identificados en el presente trabajo.



5. Discusión

5.1. Selección de especies

En el presente trabajo, se realizó la selección de especies de acuerdo a la disponibilidad de información y a su importancia para el corredor. Sin embargo, si se llevara a cabo una priorización a nivel nacional se podrían seleccionar especies de diferentes grupos taxonómicos con diferentes escalas de dispersión, de tal manera que se llevara una priorización más integral en términos de biodiversidad. Igualmente se pueden seleccionar especies en vía de extinción, siempre y cuando existan los datos suficientes para modelarla. Es importante señalar la importancia de la disponibilidad y facilidad de acceso a diferentes fuentes de datos, en este caso los facilitados por Proyecto de Monitoreo de Aves (PMA) – CATIE; Partners in Flight; Programa Integral de Monitoreo de Aves de Tortuguero; San Vito Bird Club; Asociación Ornitológica de Costa Rica e InBio, los cuales facilitaron el proceso de modelación y priorización de las áreas.

5.2. Modelación de nichos ecológicos

Uno de los requerimientos o de las necesidades más importantes dentro de las estrategias de PSA o de conservación es la priorización de áreas primordiales para la conservación. A través del enfoque de la modelación de nichos ecológicos, se alcanza parte de este requerimiento, ya que nos permite a partir de una especie seleccionada por su importancia conocer el área donde esta potencialmente se puede distribuir. Este filtro en áreas permite localizar los esfuerzos de conservación en aquellas zonas donde realmente se puede encontrar la especie y donde es necesario invertir. Igualmente, es útil para identificar en procesos de ordenamiento del territorio, donde se pueden establecer actividades agropecuarias con cierta intensidad y donde es vital aplicar prácticas más ecológicas para garantizar la permanencia de la especie.

Estas herramientas para la modelación y priorización tienen un alto potencial, sin embargo es importante tener en cuenta las limitantes que estos modelos tienen y las fuentes de error que pueden desvirtuar los resultados. En el presente estudio, uno de los resultados más significativos en la modelación de los nichos ecológicos fue evidenciar el efecto de la escala y de la distribución de los datos de presencia de las especies en la delimitación de dichos nichos, donde a escala local y con una distribución concentrada de los datos da áreas totalmente erróneas en la predicción, para la ecología de la especie. El acompañamiento de un especialista de las especies trabajadas es otro factor importante que permite obtener resultados más acordes a la realidad.

5.3. Conectividad funcional

La modelación de la conectividad funcional en el presente trabajo, permite identificar las diferencias y similitudes con las redes de conectividad estructurales propuestas por Murrieta (2006). Uno de los factores más importantes entre ambas metodologías, es que mantienen una tendencia general de conexión en el paisaje, sin embargo, el incluir la percepción de una especie del paisaje y su capacidad de movilidad, permite identificar mejor las áreas más importantes para garantizar su conectividad, igualmente, como se evidencio para el *M. oleagineus*, su prioridad no es la conexión de un extremo al otro del corredor, para la especie es igual de importante restaurar la conectividad en cada vertiente del corredor. Esta delimitación de las redes estructurales por Murrieta (2006) fue un insumo fundamental para la organización del comité de gestión del CBVCT el cual tomo de base estas redes para dividir sus grupos de trabajo. Sin embargo, para la priorización de áreas y para la inversión a través de PSA la conectividad funcional nos permite elegir de una manera más fácil y adecuada las zonas prioritarias. El presente trabajo, tendrá continuidad a través de una pasantía donde se caracterizaran todas las áreas priorizadas y se seleccionaran las más “aptas” de acuerdo a la legislación de FONAFIFO para implementar el PSA dentro del CBVCT tanto en los sistemas agroforestales de café, como en sistemas silvopasotriles y en las áreas de bosque.

Dentro de las áreas de los corredores establecidos para la *M. oleagineus* se evidencia la alta proporción de áreas de pasto y pasto arbolado, lo cual es explicado por la predominancia de este uso y por su distribución en el paisaje en alta proporción colindante con las áreas de bosque. Sin embargo, a partir de la modelación de distintos escenarios se puede evidenciar, el efecto que puede tener el cultivo del café en el paisaje, el cual aumenta el área de parches funcionales para la especie y por lo tanto disminuye notoriamente el área y número de corredores que garantizan la conectividad. Esta importancia del café, ha sido mencionada por Estrada & Coates – Estrada (1997), los cuales llevaron a cabo un inventario de aves en diferentes tipos de usos, encontrando que las áreas con cultivos como el café y el cacao reportan alta número de especies; estas áreas pueden compensar en parte no solamente la perdida de área boscosa para las aves, sino que también la perdida de heterogeneidad cuando el bosque es convertido en pasto; principalmente porque cumplen la función de “stepping Stones” para las aves. Komar (2006) menciona igualmente que las plantaciones de café con sombra, pueden funcionar como un ecotono o zona de transición entre los parches de bosque natural y otros usos de la tierra, y la riqueza de especies puede de este modo ser aumentada por la presencia de los elementos tanto del bosque como de las áreas abiertas con café con sombra. Teniendo en cuenta la distribución de usos en el CBVCT donde aproximada el 50 % del perímetro de las áreas de bosque colindan con pastos, se evidencia por lo tanto la importancia del café, para cumplir la función de “stepping Stones” mencionada por Estrada & Coates – Estrada (1997).

El área de café en el Turrialba está disminuyendo y como lo reporta el ICAFE (2005) y Cerdán (2007) está siendo remplazado principalmente por pastos. Los motivos de cambio de uso mencionados por Cerdán (2007) son: a) caída los precios de café, b) su cercanía con áreas urbanas, c) el incremento en el valor del precio de la tierra y d) zona marginal para la producción de café.

Este desbalance entre los ingresos y egresos del productor debe ser compensado a través de los PSA o precios especiales por procesos de certificación para lograr detener esta tendencia en disminución del área y así mantener las áreas existentes de café, las cuales juegan un papel importante en la conectividad y conservación de la biodiversidad. Las áreas de pasto y pasto arbolado, a pesar de que como Estrada & Coates – Estrada, 1997 mencionan son áreas más hostiles para ciertas especies de aves por sus condiciones climáticas extremas, falta de recursos, y gran exposición a los predadores, pueden jugar un papel importante en el paisaje cuando son complementadas con cercas vivas diversificadas las cuales puedan proveer frutos o recursos para la aves (Lang et al, 2003).

Moore et al (2008) mencionan que los corredores que conectan los remanentes de bosque serán esenciales para la mantener la diversidad avial en los bosques tropicales, y que la permanencia de las especies en los bosques remanentes aislados será diferencialmente mediado por las habilidades respectivas de dispersión. En el presente trabajo, se seleccionaron las capacidades de dispersión estimadas a partir de la ecuación alométrica, la cual arroja valores más discretos a los reportados por Moore et al (2008) en su experimento para el *M. oleagineus*. Esta selección se hizo partiendo del principio precautorio para así delimitar las áreas realmente facilitarían esta conectividad.

A partir de estos corredores o áreas identificadas importantes para la conectividad funcional, se deben desarrollar estrategias e incentivos principalmente en tres direcciones, la primera debe ser fomentar la permanencia y el establecimiento de sistemas productivos coherentes con la conservación como son los sistemas agroforestales de café y los sistemas silvopastoriles, la segunda está dirigida a garantizar la permanencia de los charrales y tacotales las cuales son áreas vulnerables al cambio pero que igual están prestando servicios ambientales, y finalmente la tercer estrategia debe estar direccionada a aumentar y proteger los relictos de bosque que están funcionando como parches funcionales para las especies trabajadas, áreas importantes para garantizar la conectividad dentro del CBVCT.

6. Bibliografía

- American Ornithologist Union (AOU). 2008. Check list of the birds of North and Central America (en línea). Virginia, USA. Consultado 06 de ago. 2008. Disponible en: <http://www.aou.org/checklist/index.php3#troc>
- Anderson P. R, Martinez-Meyer E. 2003. Modeling species geographic distributions for preliminary conservation assessments: an implementation with the spiny pocket mice - *Heteromys* of Ecuador. *Biological Conservation*
- Anderson P. R. 2003. Real vs. artefactual absences in species distributions: test for *Oryzomys albigularis* in Venezuela. *Journal of Biogeography*, 30. 591 – 605.
- BirdLife International. 2008. Species factsheet: *Dendroica pensylvanica*, *Mionectes oleaginosa* and *Ramphocelus passerinii* (en línea). USA. Consultado 06 ago. 2008. Disponible en: <http://www.birdlife.org/index.html>.
- Brenes C. 2009. Análisis de la dinámica del cambio de uso de suelo, paisaje y conectividad en el corredor en el periodo 1986 - 2008. En pub.
- Céspedes, MV. 2006. Diseño de una red ecológica de conservación entre la Reserva de Biosfera La Amistad y las áreas protegidas del Área de Conservación Osa, Costa Rica. 121
- Estrada A; Coates – Estrada R. 1997. Anthropogenic landscape changes and avian diversity at Los Tuxtlas, Mexico. *Biodiversity and Conservation* 6, 19 – 43.
- Feria T. P. & Peterson A. T. 2002. Prediction of bird community composition based on point – occurrence data and inferential algorithms: a valuable tool in biodiversity assessments. *Diversity and Distributions*. Vol 8, 49 – 56.
- Ferrier, S. (2002) Mapping spatial pattern in biodiversity for regional conservation planning: where to from here? *Syst. Biol.* 51, 331–363
- Gil de Lamadrid, A.S. 2008. Contribución de diferentes arreglos silvopastoriles a la conservación de la biodiversidad, mediante la provisión de hábitat y conectividad en el paisaje de la sub-cuenca del Río Copán, Honduras. Tesis Mag. Sc., Turrialba, C.R.
- Graham C. H. y Blake J. G. 2001. Influence of patch and landscape level factor son bird assemblages in a graftermented tropical landscape. *Ecological Applications*, 11(6). Pp 1709 – 1721.
- Graham C. H., Ferrier S, Huettman F. Morits C. Peterson T. 2004. New developments in museum – base informatics and applications in biodiversity analysis. *Trends in Ecology and evolution*. Vol. 19. N° 9.
- Grinnell, J. (1917). Field tests of theories concerning distributional control. *American Naturalist*, 51, 115–128.
- Grinnell, J. (1924). Geography and evolution. *Ecology*, 5, 225–229.
- Guisan A. and Thuiller W. 2005. Predicting species distribution: offering more than simple habitat models. *Ecology Letters*, 8: 993 – 1009.

- Hijmans, RJ; Cameron, SE; Parra, JL; Jones, PG; Jarvis, A. 2005. Very high resolution interpolated climate surfaces for global land areas international. *Journal of climatology* 25: 1965–1978.
- Hector T., Carr M. H. and Zwick P. D. 2000. Identifying a linked reserve system using a regional landscape approach: The Florida Ecological Network. *Conservation Biology*. Vol. 14, N° 4. Pp. 984 – 1000.
- IUCN (International Union for the Conservation of Nature). 2004. Red list of threatened species: a global species assessment. Baillie, JEM; Hilton-Taylor, C; Stuart, SN (eds). IUCN Red List Programme Office. Cambridge, UK. 217 p.
- Jiménez R. 2000. Propuesta metodológica en el diseño y evaluación de un corredor biológico en la reserve forestal Golfo Dulce, Costa Rica. Tesis Mag. Sc., Turrialba, C.R.
- Komar O. 2006. Priority contribution Ecology and conservation of birds in coffee plantations: a critical review. *Bird Conservation International* Vol 16: 1 – 23
- Lang I.; Gormley H. L.; Harvey C. A.; Sinclair F. L. 2003. Composicion de la comunidad de aves en cercas vivas de Rio Frío, Costa Rica. *Agroforestería en las Américas*. VOI 10 N° 39 – 40.
- Llanderal, T. 1998. Diversidad de dosel de sombra en cafetales de Turrialba, Costa Rica. Thesis *Magister Scientiae*. CATIE. Turrialba, CR. 59 p.
- Levey D. J.; Bolker B. M.; Tewksbury J. J.; Sargent S. & Haddad N. M. 2005. Effects of landscape corridors on seed dispersal by birds. *Science* 309, 146.
- Martínez-Salinas, MA. 2008. Conectividad funcional para aves terrestres dependientes de bosque en un paisaje fragmentado en Matiguás, Nicaragua. Tesis Mag. Sc. Turrialba, CR, CATIE. 141 p.
- Myers, N., Mittermeier R., Mittermeier C, da Fonseca G³ & Kent J. 2000. Biodiversity hotspots for conservation priorities. *Nature* Vol 403. 24 February 2000 http://www.ithaca.edu/faculty/rborgella/environment/biodiversity_hotspot.pdf
- Moore R. P.; Robinson W. D.; Lovette I. J. y Robinson T. R. 2008. Experimental evidence for extreme dispersal limitation in tropical forest birds. *Ecology Letters*, 11:960 – 968.
- Murrieta, E. 2006. Caracterización de cobertura vegetal y propuesta de una red de conectividad ecológica en el Corredor Biológico Volcánica Central - Talamanca, Costa Rica. Tesis Mag. Sc. CATIE. Turrialba, Costa Rica. 125 p
- Ortiz E.; Masis M. 2004. Atlas digital de Costa Rica 2004. Instituto tecnológico de Costa Rica. Escuela de ingeniería forestal.
- Ortega-Huerta M. A. and Peterson A. T. 2004. Modelling spatial patterns of biodiversity for conservation prioritization in North – Eastern Mexico. *Diversity and Distributions*, 10: 39 – 54.

- Pearson R. G. y Dawson T. P. 2003. Predicting the impacts of climate change on the distribution of species: are bioclimate envelope models useful?. *Global Ecology & Biogeography*. Vol. 12 361 – 371.
- Perfecto I; Rice R. A.; Greenberg R.; y Van der Voort Marta E. 1996. Shade coffee: a disappearing refuge for biodiversity. *BioScience* Vol. 46 No. 8.
- Peterson T. A., Sanchez-Cordero V., Martinez-Meyer E, Navarro-Sigüenza G. A. 2006. Tracking population extirpations via melding ecological niche modeling with land cover information. *Ecological Modeling*. Science Direct. 195. 229 – 236.
- Peterson T. A.; Egbert S. L.; Sanchez-Cordero V.; Price K. P. 2000. Geographic analysis of conservation priority: endemic birds and mammals in Veracruz, Mexico. *Biological Conservation* 93. 85 – 94.
- Raxworthy C, Martinez-Meyer E., Horning N., Nussbaum R. A., Schneider G. E., Ortega-Huerta M. A. & Peterson A. T. 2003. Predicting distributions of known and unknown reptile species in Madagascar. *Nature*. Vol 426. 18/25 dec 2003. www.nature.com/nature
- Ramos Z. S. y Finegan B. 2006. Red ecológica de conectividad potencial: estrategia para el manejo del paisaje en el Corredor Biológico San Juan – La Selva. *Recursos Naturales y Ambiente (CATIE)*. N° 49 – 50. PP. 112 – 123.
- Schippers P, Verboom J, Knaapen J. P. & van Apeldoorn R. C. 1996. Dispersal and habitat connectivity in complex heterogeneous landscapes: an analyses with a GIS- based random walk model. *Ecography*. Vol 19: 97 – 106. Copenhagen.
- Stiles, G; 1985. Conservation of forest birds in Costa Rica: problems and perspectives. *In: Diamond, AW; Lovejoy, TE (eds). Conservation of tropical forest birds*. 1 ed. UICN. Pp 141-168.
- Stiles, G; Skutch, A. 1989. *A guide to the birds of Costa Rica*. USA. Cornell University Press. 511 p.
- Stockwell R. B. D. Peterson T. A. 2002. Effects of sample size on accuracy of species distribution models. *Ecological Modeling*. 148. 1-13.
- Taylor, R. 2006. Birds using a contemporary Neotropical landscape: the effects of forest fragmentation and agricultural landscape structure on Neotropical birds. Tesis Doctor of Philosophy. Joint Ph.D. program. University of Wales, Bangor-CATIE. 172 p.
- Toribio M. A. y Peterson T.A. 2008. Prioritisation of Mexican lowland rain forests for conservation using modelled geographic distributions of birds. *Journal for Nature Conservation*. Science Direct. 16. 109 – 116.
- Theobald, DM; Normasn, JB; shurburne, MR. 2006. FunConn v1 Users Manual: ArcGIS tools for functional connectivity modeling (en línea). Consultado el 7 de octubre 2006. Disponible en: www.nrel.colostate.edu/projects/starmap/FUNCONNUsersManual_public.pdf

- Theobald, DM; Hobbs, NT. 1999. Calculating Landscape Fragmentation using a Gradientbased Approach (en linea). Paper presentado en "ESRI User Conference, San Diego, CA" Disponible en <http://gis.esri.com/library/userconf/proc99/proceed/papers/pap141>.
- Urban D & Keitt T. 2001. Landscape connectivity: a graph theoretic perspective. *Ecology*, 82 (2). Pp 1025 - 1218