

Instituto Tecnológico de Costa Rica
Escuela de Ingeniería Forestal

Informe de Práctica de Especialidad para optar por el grado de
Bachiller en Ingeniería Forestal

**Utilización de sensores remotos para determinar
cambio de uso de la tierra en Costa Rica: caso del Área
de Conservación Osa (1992-2005) y del Área de
Conservación Tempisque**

Víctor Milla Quesada

Cartago, Costa Rica, 2008



RESUMEN

El Programa de Servicios Ambientales (PSA) se inició formalmente en 1997 en Costa Rica. Se diseñó como un mecanismo para contrarrestar la deforestación y degradación ambiental que venía sufriendo el país desde la década de los sesenta. Se evaluaron los cambios de uso de la tierra mediante fotografías aéreas de 1992 y 2005 en el Área de Conservación Osa, y el uso de la tierra en 1992 en el Área de Conservación Tempisque mediante una imagen satelital. La evaluación de 65 522 ha en el Área de Conservación Osa, registró un incremento del área de la categoría Bosque Natural, pasando de 28 606 ha a 31 247 ha. Las categorías Cultivos Agrícolas, Agua y Otros (Nubes, Playas, Reforestación, Sombras, Zonas Urbanas y Falta de Cobertura) registraron incrementos de 0,5%; 0,9% y 8,0% respectivamente. Las categorías Potreros y Humedales redujeron su área un 12,7% y 0,8% respectivamente. El uso del tierra en 309 230 ha en el Área de Conservación Tempisque, indicó un porcentaje de Bosque Natural de 64,7%, mientras que los Potreros un 33,3%. Los demás usos no superaron el 0,7%.

Palabras Claves: PSA; uso de la tierra; Área de Conservación Tempisque; Área de Conservación Osa; fotografías aéreas; imagen satelital

ABSTRACT

The Program for Environmental Services (PES) in Costa Rica begins formally in 1997. The program was designed as a mechanism to reverse deforestation and ecological degradation that the country was suffering since the decade of the 60. An evaluation of land use changes in Osa Conservation Area was assessed using aerial photography of 1992 and 2005. The land use of Tempisque Conservation Area in 1992 was assessed using a satellite image. The evaluation of 65 522 ha in the Osa Conservation Area, registered an increment of the Forest class, going from 28 605 ha to 31 247 ha. The classes Agricultural Crops, Water and Others (Clouds, Beaches, Reforestation, Shadows, Urban and No classify) registered increments of 0,5%; 0,9% and 8,0% respectively. The classes No forest and Swamps reduced its area 12,7% and 0,8% respectively. The land use in 309 230 ha in Tempisque Conservation Area shows a 64,7% of Forest and a 33,3% of No forest. The other land uses stay below 0,7%.

Key Words: PES; land use; Tempisque Conservation Area; Osa Conservation Area; aerial photography; satellite image

**Utilización de sensores remotos para determinar
cambio de uso de la tierra en Costa Rica: caso del Área
de Conservación Osa (1992-2005) y del Área de
Conservación Tempisque**

**Informe presentado a la Escuela de Ingeniería Forestal del Instituto
Tecnológico de Costa Rica como requisito parcial para optar al título de
Bachiller en Ingeniería Forestal**

Miembros del Tribunal

Dr. Edgar Ortiz Malavasi
Profesor Asesor Escuela de Ingeniería Forestal

M.Sc. Braulio Vilchez Alvarado
Lector

Ing. Casia Soto Montoya
Lectora

DEDICATORIA

*A mis padres por el esfuerzo
realizado en todos estos
años para lograr culminar
mis estudios*

AGRADECIMIENTOS

A Andrea, Ana Julieta, Paula, Guillermo y Casia, por sus aportes en el transcurso del trabajo.

A Edgar Ortiz, Rodrigo Arriagada y Erin Sills por la oportunidad de participar en el proyecto.

A Rita y Luchi por años de incansable apoyo y dedicación generosa.

A Ana María y Guillermo por su cariño y ejemplo de humildad y lucha.

A Braulio, por la solidaridad, la atención desinteresada y la mano de amigo que me ha brindado siempre.

ÍNDICE GENERAL

INTRODUCCIÓN	1
OBJETIVOS	3
Objetivo General	3
Objetivos Específicos	3
REVISIÓN DE LITERATURA	4
Antecedentes del Programa de Pagos por Servicios Ambientales.....	4
Implementación del Programa de Pagos por Servicios Ambientales	8
Caracterización de los beneficiarios	10
Impacto del Programa de Pagos por Servicios Ambientales.....	12
METODOLOGÍA.....	15
Identificación del área de trabajo.....	15
Selección y obtención de fotografías aéreas.....	20
Obtención de imágenes satelitales.....	21
Ortorectificación y georeferenciación	21
Fotointerpretación Área de Conservación Tempisque	23
Fotointerpretación Área de Conservación Osa.....	25
Análisis de uso de la tierra para el Área de Conservación Tempisque	27
Análisis de uso de la tierra para el Área de Conservación Osa.....	29
Relación capacidad de uso – uso de la tierra.....	29

RESULTADOS Y DISCUSIÓN	32
Área de Conservación Tempisque	32
Uso de la tierra.....	32
Matriz de error	33
Estadísticos de exactitud	34
Análisis de probabilidad de la matriz de error	35
Área de Conservación Osa	39
Uso de la tierra.....	40
Tasas de cambio.....	41
Diferencias en la matriz de transición	47
Relación capacidad de uso – uso de la tierra	51
CONCLUSIONES.....	55
RECOMENDACIONES	57
BIBLIOGRAFÍA	58

ÍNDICE DE CUADROS

Cuadro 1. Impacto de los Incentivos Forestales en Costa Rica. Período Pre-PSA (1979-1997).....	7
Cuadro 2. Área (ha) y número de participantes incorporados al PSA por año según modalidad.	10
Cuadro 3. Distribución del número de contratos y del área contratada, según tipo de propietarios. Período 1997-2001.....	11
Cuadro 4. Uso de la tierra para 1992 en 309 230 ha en el Área de Conservación Tempisque.	33
Cuadro 5. Matriz de error para evaluar la exactitud de los resultados finales de la clasificación supervisada de ENVI para el Área de Conservación Tempisque.....	33
Cuadro 6. Estadísticos de exactitud utilizados para evaluar la información resultante de la matriz de error.	34
Cuadro 7. Uso de la tierra para 1992 y 2005 en 65 522 ha en el Área de Conservación Osa (ACOSA).	40
Cuadro 8. Cambios registrados de uso de la tierra en 13 años para 65 522 ha en el Área de Conservación Osa (ACOSA).	41
Cuadro 9. Matriz de transición entre categorías de uso de la tierra en 13 años para 65 522 ha en el Área de Conservación Osa (ACOSA).	44
Cuadro 10. Matriz de transición con el cambio de la categoría Otros para 65 522 ha en el Área de Conservación Osa.	49
Cuadro 11. Capacidad de uso de la tierra para 64 363,3 ha en el Área de Conservación Osa.	51

Cuadro 12. Capacidad de uso para cambios entre las categorías Bosque Natural a Potreros para 65 522 ha en el Área de Conservación Osa. 52

Cuadro 13. Capacidad de uso para cambios entre las categorías Bosque Natural a Cultivos Agrícolas para 65 522 ha en el Área de Conservación Osa. 52

Cuadro 14. Capacidad de uso para cambios entre las categorías Potreros a Bosque Natural para 65 522 ha en el Área de Conservación Osa. 52

Cuadro 15. Capacidad de uso para cambios entre las categorías Cultivos Agrícolas a Bosque Natural para 65 522 ha en el Área de Conservación Osa. 52

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Series de mapas con cobertura boscosa según su publicación.	8
Figura 2. Mapa segmentos rurales de Costa Rica.....	16
Figura 3. Mapa segmentos rurales escogidos para el análisis en el Área de Conservación Tempisque.	17
Figura 4. Mapa segmentos rurales escogidos para el análisis en el Área de Conservación Osa.	18
Figura 5. Clasificación supervisada de una Imagen Landsat 5 de 1992 para el Área de Conservación Tempisque obtenida mediante el software ENVI.....	32
Figura 6. Tasa de cambio anual neta de seis categorías de uso del suelo en 13 años para 65 522 ha en el Área de Conservación Osa.	42

ÍNDICE DE ANEXOS

Anexo 1. Mapa uso del suelo en 1992 para 65 522 ha en el Área de Conservación Osa.	64
Anexo 2. Mapa uso del suelo en 2005 para 65 522 ha en el Área de Conservación Osa.	65
Anexo 3. Matriz de transición (ha) entre categorías de uso de la tierra en 13 años para 65 522 ha en el Área de Conservación Osa.	66
Anexo 4. Recuperación del bosque en el Área de Conservación Osa en un período de 13 años.	67
Anexo 5. Pérdida del bosque en el Área de Conservación Osa en un período de 13 años.	68
Anexo 6. Clase de uso Agua agrupada en la categoría Otros en el Área de Conservación Osa en un período de 13 años.	69
Anexo 7. Clase de uso Cultivos Agrícolas agrupada en la categoría Otros en el Área de Conservación Osa en un período de 13 años.	70
Anexo 8. Análisis de probabilidad mediante el estadístico Kappa (K_{hat}).....	71

INTRODUCCIÓN

Es incuestionable la importancia que tiene el medio natural como proveedor de bienes ambientales, tanto en forma de materias primas que apoyan la actividad productiva como de bienes de consumo final. Los ecosistemas brindan servicios muy diversos que producen beneficios a escala local, nacional y global, como lo son la mitigación de gases de efecto invernadero, la protección del agua para uso urbano, rural o hidroeléctrico; la protección de biodiversidad con fines de uso sostenible y el mantenimiento de la belleza escénica natural para fines turísticos y científicos.

Las zonas rurales de países en vías de desarrollo contienen aproximadamente la totalidad de los bosques tropicales del mundo (Robalino y Pfaff, 2005). Los niveles de pobreza y los índices de deforestación en estas áreas, así como también las demandas mundiales por la conservación de los bosques, indican la importancia de entender los determinantes de la deforestación y de encontrar políticas apropiadas para la conservación.

A pesar de los billones de dólares que han sido invertidos alrededor del mundo para detener la pérdida a nivel global de ecosistemas naturales (Hardner y Rice, 2002; James *et al*, 2001), el área de ecosistemas degradados o convertidos a otros usos continua creciendo a una tasa muy rápida (Hardner y Rice, 2002; James *et al*, 2001).

En un estudio realizado por Geist y Lambin (2002), donde se involucraron regiones específicas en el trópico, se indica que prácticamente en todas las regiones analizadas, los agricultores acabaron el bosque para cultivar o sembrar pasto. En cerca de la mitad de los casos la extracción comercial de madera también desempeñaba un papel importante. La agricultura de roza y quema figuraba en casi 40% de los casos. Cerca de 40% de los estudios reportaron que la pobreza contribuyó a la deforestación, y un número similar de

estudios encontró que los altos oficiales públicos y los inversionistas privados habían promovido la destrucción de los bosques para lograr beneficios propios.

En Costa Rica, informes oficiales por parte del Ministerio de Ambiente y Energía (MINAE), reconocen que existe corta de árboles sin permiso alguno; que se cortan árboles no autorizados en áreas con permiso legal y que los bosques se están socolando para convertirlos a sistemas agroforestales forzados, porque es más fácil y económico un permiso en un área sin bosque a través de un inventario, que un permiso en un bosque por medio de un plan de manejo.

Los cambios experimentados desde la década de los ochenta en relación a la perspectiva de los servicios que ofrecen los ecosistemas forestales, motivaron la creación de una nueva forma de entender el recurso forestal, lo cual se manifestó en la implementación del Programa por Servicios Ambientales (PSA).

El PSA se inició formalmente en 1997 en Costa Rica. Se diseñó como un mecanismo para contrarrestar la deforestación y degradación ambiental que venía sufriendo el país desde la década de los sesenta. Según Ortiz *et. al*, (2003), el PSA es una variación de los sistemas que se utilizaron anteriormente. Sin embargo, es una iniciativa viva que está cambiando y mejorándose constantemente.

Efectos como el mejoramiento de la calidad de las aguas, la motivación para los dueños de tierra de incursionar en otras actividades productivas como el ecoturismo y la agroconservación, la generación de empleo y sobre todo el crecimiento del área de los bosques tropicales, han sido una consecuencia directa del PSA, que aunque posee fallas, sirve como mecanismo real de conservación en Costa Rica.

OBJETIVOS

Objetivo General

Determinar cambios de uso de la tierra en el período 1992-2005, en el Área de Conservación Osa y el uso de la tierra en 1992 en el Área de Conservación Tempisque, a partir de fotografías aéreas y una imagen satelital.

Objetivos Específicos

- Determinar tasas de cambio anual en el período 1992-2005 de los segmentos censales evaluados en el Área de Conservación Osa de Costa Rica.
- Determinar causas de cambio de uso de la tierra en el Área de Conservación Osa de Costa Rica.
- Determinar la relación entre la capacidad de uso y el uso de la tierra en el Área de Conservación Osa de Costa Rica.
- Evaluar la efectividad del software ENVI 4.4, para determinar el uso de la tierra para el Área de Conservación Tempisque de Costa Rica en el año 1992.

REVISIÓN DE LITERATURA

Antecedentes del Programa de Pagos por Servicios Ambientales

En Costa Rica, durante la primera mitad del siglo pasado, las políticas de la colonización de tierras, especialmente las concesiones de títulos de tierra, favorecieron fuertemente la deforestación. De este modo, para que los propietarios de tierras pudieran obtener estos títulos, por ley tenían que demostrar que habían mejorado la tierra, lo cual generalmente implicaba la eliminación del bosque para establecer cultivos agrícolas o pastos para ganadería. A pesar de la eliminación de esta ley, hoy en día, todavía prevalece una cultura similar, donde se mantiene la tierra “limpia” como un mecanismo de protección ante los desalojos, asegurando la tenencia de la tierra. Adicionalmente, hay una noción de que la aparición de los primeros estadíos sucesionales es evidencia de abandono y mal manejo de las fincas.

Durante los años 60's y 70's, la ganadería fue considerada un modelo ideal de desarrollo en zonas rurales (Peuker, 1992), el cual fue apoyado no solo por el gobierno costarricense, si no también por agencias de desarrollo internacionales. De este modo, las causas de tener bajas tasas de interés, así como también del incremento en la demanda de carne hacia U.S.A, convirtiéndose en el mayor importador (95%), generaron la destrucción de 874 000 ha de bosques, de los cuales el 57% fue convertido a pastos, aumentando su área de 600 000 ha en 1954 a 1.7 millones de ha 1974 (Montoya, 2002).

A pesar de la creación de la Ley Forestal en 1969 (4465), que ayudó a la reforestación de 35 600 ha (De Camino *et al*, 1999), la tasa de deforestación continuó en aumento, debido a que esta ley, no contemplaba a los bosques secundarios como bosques, así, se le dio incentivos únicamente a las plantaciones forestales, permitiendo inclusive la eliminación de áreas de bosque. Sumado al hecho de permitir la eliminación de estos ecosistemas, según De Camino *et al* (1999), por lo general, los propietarios de bosques y

terrenos aptos para reforestación no tenían acceso a este incentivo, porque no pagaban impuestos, por lo que sólo empresas o personas que pagan impuesto de la renta utilizaron este sistema.

En un estudio realizado por Pérez y Protti (1978) se indica que en 1950 existían en el país 27000 km² cubiertos por bosques denominados como "densos", lo que equivale al 53% del territorio costarricense. En este estudio se define como "bosque denso" aquellas áreas en las que al menos el 81% de su superficie está cubierta de árboles. El mismo documento señala que para el año 1977, la totalidad de bosques densos equivalía únicamente a 16000 km². Estos datos muestran una pérdida entre 1950 y 1977 de 11000 km² de bosques densos, lo cual indica que en 27 años se deforestó aproximadamente el 41% de tales bosques.

En los años 80's, hubo una disminución del crédito disponible hacia el sector ganadero, generando un declive en el mismo, lo cual produjo un abandono de pastos (400 000 ha). Este panorama favoreció el establecimiento de bosques secundarios, incrementando el área de 230 000 ha en 1984 a 425 000 ha en 1994, que sin embargo, constituían bosques pequeños, aproximadamente parches de 10 ha.

En 1986, se modificó el Sistema de Deducción sobre Impuesto de Renta, con la creación de la Ley Forestal 7032, donde a través del Estado se emitían certificados a quien demostrara ante la Dirección General Forestal, que había realizado proyectos de reforestación. Este mecanismo permitía que los incentivos para reforestación fueran utilizados por una gama más amplia de propietarios de tierra y empresas, creando así mayores oportunidades de participación de la sociedad civil (Ortiz *et. al*, 2003).

La Ley Forestal 7032 de 1986, también estableció un incentivo indirecto para la reforestación y, a la vez, alternativo al CAF. Este fue conocido como "El Artículo 87" y, en virtud de éste, a las empresas nacionales y extranjeras se les eximía del pago de impuestos nacionales a insumos de capital y de importación de bienes cuando se demostraba que éstos eran requeridos en proyectos de

reforestación. Se estima que bajo este tipo de incentivo indirecto, se logró reforestar cerca de 16.000 ha (De Camino *et al*, 1999).

En 1990, se creó la Ley Forestal 7134, y con ella, los CAF para la reforestación de ampliaron. Con la Ley Forestal 7134 de 1990, los CAF para reforestación se ampliaron. Se crearon el Certificado de Abono Forestal por Adelantado (CAFA) y el Certificado de Abono Forestal para Manejo (CAFMA). El primero permitía recibir fondos para reforestación antes de establecer la plantación, es decir, por adelantado. Permitía cubrir los costos del primer año de establecimiento de la plantación y estaba dirigido a pequeños reforestadores que no contaban con recursos para cubrir estos costos. Uno de los requisitos para acceder a este tipo de incentivos era que los agricultores debían estar necesariamente asociados a una organización legalmente reconocida y con personería jurídica. El CAFMA estaba dirigido a promover el manejo de bosque natural, y éste cubría los costos adicionales del manejo forestal tecnificado, lo cual implica la preparación de un Plan de Manejo, la preparación y ejecución de un plan de aprovechamiento mejorado de bajo impacto, y la planificación y ejecución de tratamientos silviculturales de postcosecha (Ortiz *et. al*, 2003).

En 1995, el esquema de certificados se extendió aún más, y se estableció el Certificado de Protección del Forestal, que se denominó CAFMA-2000. El mismo estaba dirigido a dueños de bosque interesados en dedicarse a la conservación de bosques naturales. Con este nuevo tipo de certificado, se pudo cubrir todo el ámbito de actividades de producción forestal, a saber: reforestación; manejo de bosque natural; y protección de bosques. A la vez, permitió promover las actividades forestales para todos los diferentes tipos de propietarios de tierra y tipos de bosque (De Camino *et al*, 1999).

En el mismo periodo (1986-1995), el país dispuso de recursos adicionales para apoyar las actividades de reforestación a través de pequeños productores organizados. Con fondos de la cooperación internacional de Holanda, Suecia, y Finlandia, y bajo la modalidad de Canje de Deuda Externa por Naturaleza, se creó el Fondo de Desarrollo Forestal (FDF) para financiar reforestación en áreas inferiores a 10 ha. Asimismo, con fondos de la Agencia Internacional

para el Desarrollo de los Estados Unidos (USAID), y junto con los destinados por el Estado, se creó el Fondo Nacional de Financiamiento Forestal (FONAFIFO) y se asignaron fondos para financiar, bajo la modalidad de crédito, proyectos relacionados con la actividad forestal (Ortiz *et. al*, 2003).

Los diferentes incentivos forestales creados anteriormente (Cuadro 1), significaron un impacto positivo en el aumento de la cobertura forestal de Costa Rica, convirtiéndose en la antesala de un nuevo modelo de conservación que se logró implantar en la conciencia de los nuevos proyectos de desarrollo sostenible.

Cuadro 1. Impacto de los Incentivos Forestales en Costa Rica. Período Pre-PSA (1979-1997).

Tipo de Incentivo	Área (ha)
Deducción de Impuesto de la Renta	35.597
Certificado de Abono Forestal (CAF)	38.086
Certificado de Abono Forestal Adelantado (CAFA)	33.818
Certificado de Abono Forestal para Manejo de Bosques (CAFMA)	22.120
Fondo de Desarrollo Forestal-Pequeños Propietarios (FDF)	12.789
Créditos en FONAFIFO	2.800
CAFMA-2000	22.199
Ley Forestal 7032, Artículo 87	16.072
TOTAL	173.471

Fuente: FONAFIFO, 1998

Los cambios sociales y ambientales que Costa Rica vivió en la segunda mitad del siglo pasado, condujeron a tener cifras alarmantes de deforestación. En Costa Rica, diferentes investigadores publicaron mapas de cobertura forestal en décadas pasadas. Esta información fue analizada en 1940, 1950 y 1960 con base a fotografías aéreas Landsat MSS de 1977 (OPSA, 1978) y 1983 (Flores Rodas, 1984), y de Landsat TM de 1996 y 1997. Los resultados (Figura 1) muestran el deterioro sufrido desde mitad del siglo pasado, y como mediante el impulso de los primeros incentivos forestales se logró revertir la problemática ambiental.

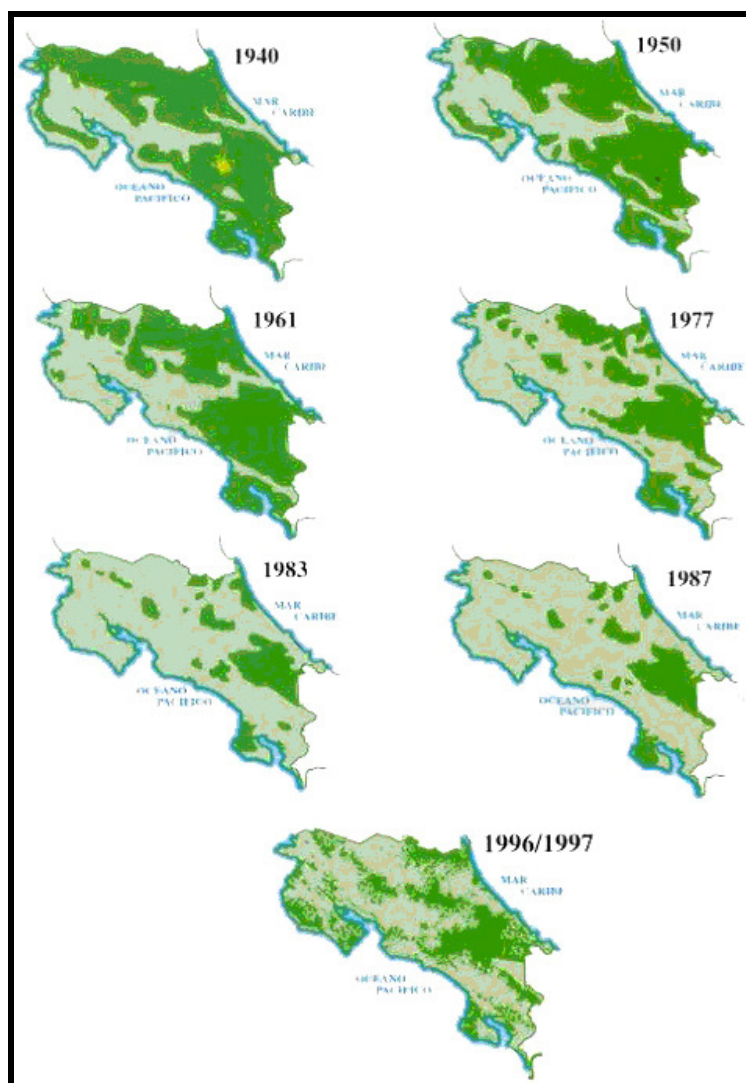


Figura 1. Series de mapas con cobertura boscosa según su publicación.

Fuente: CCT-CIEDES-. CI; FONAFIFO, 1998

Implementación del Programa de Pagos por Servicios Ambientales

En Costa Rica, los aspectos ambientales cobran importancia al relacionarlos con aspectos financieros y de bienestar social. Esto ha llevado a un cambio del concepto de conservación, pasando de una visión de protección absoluta a otra donde el ser humano tiene especial participación.

En 1996 se promulga la Ley Forestal 7575 que cambia el concepto sobre el valor de los bosques y plantaciones forestales, el cual estaba restringido únicamente al valor de la madera que se podía aprovechar en éstos. Esto permitió el “reconocimiento a los propietarios de bosques y plantaciones de los

bienes y servicios que los mismos brindan a la sociedad” dando origen así a un mecanismo de financiamiento para el fomento de la actividad forestal (Rodríguez, s.f.), así el sistema de Certificados de Abono Forestal (CAF, CAFA, CAFMA, y CAFMA- 2000), evolucionó a un esquema de Pagos por Servicios Ambientales (PSA).

El programa de Pago de Servicios Ambientales (PSA) en Costa Rica, se diseñó como un mecanismo financiero para promover la conservación de los recursos forestales del país, y no como un mecanismo de combate a la pobreza en medios rurales. Sin embargo, también se ha propuesto que el PSA es además un instrumento de re distribución de riqueza que viene a fortalecer las economías familiares en medios rurales, y por lo tanto es un medio de combate de la pobreza (Ortiz *et. al*, 2003).

La Ley Forestal 7575, establece que los servicios ambientales del bosque y las plantaciones forestales son aquellos que inciden directamente en la protección y el mejoramiento del medio ambiente, tales como mitigación de gases con efecto invernadero, protección del agua protección de la biodiversidad, y protección de la belleza escénica.

La creación de la Ley 7575, también condujo a una prohibición de cambio de uso de la tierra, así como también a la obligación por parte de los propietarios, de aplicar los criterios e indicadores nacionales para la sostenibilidad forestal. La implementación del PSA, de 1997 al 2006, ha incorporado cerca de 532 668 ha (Cuadro 2). Los tamaños promedios de los proyectos sometidos al PSA es de 82 ha en la modalidad de protección de bosque, 69 ha para la modalidad de manejo de bosques (durante el periodo que estuvo vigente) y 26 ha para la modalidad de reforestación.

Cuadro 2. Área (ha) y número de participantes incorporados al PSA por año según modalidad.

Año	Modalidades de PSA						Número de Contratos
	Protección de Bosque	Manejo de Bosque	Reforestación	Plantaciones Establecidas	Total Hectáreas	Sistemas Agroforestales (árboles)	
1997	88 830	9 325	4 629	-	102 784	-	1 200
1998	47 804	7 620	4 173	319	59 916	-	597
1999	55 776	5 125	3 156	724	64 781	-	622
2000	26 583	-	2 457	-	29 040	-	271
2001	20 629	3 997	3 281	-	27 907	-	287
2002	21 819	1 999	1 086	-	24 904	-	279
2003	65 405	-	3 155	205	68 765	97 381	672
2004	71 081	-	1 557	-	72 638	412 558	760
2005	53 493	-	3 602	-	57 095	513 684	755
2006	19 972	-	4 866 *	-	24 838	380 398	619
TOTAL	471 392	28 066	31 962	1248	532 668	1 404 021	6062

Fuente: FONAFIFO, 2006

*: Incluye datos de Reforestación y Regeneración Natural

En el período 1997-2006, el programa tuvo una asignación presupuestaria de cerca de \$90 millones, transferidos a propietarios privados de tierras

Desde el 2001, bajo una nueva modalidad, según la Ley 8114 de Simplificación y Eficiencia Tributaria, 3,5% del impuesto a los combustibles es destinado al FONAFIFO para la ejecución del programa (Barton *et al*, 2003) y representa la principal fuente de ingresos para FONAFIFO, aproximadamente \$8,6 millones/año (Miranda *et al*, 2006).

Otras fuentes presupuestarias del PSA, las constituyen el empréstito con el Banco Mundial (Proyecto Eco mercados), la cooperación financiera del KfW del Gobierno de Alemania, convenios con empresas privadas nacionales, así como los aportes locales realizados por empresas hidroeléctricas u otras usuarias del servicio ambiental que brindan los bosques de protección del recurso hídrico.

Caracterización de los beneficiarios

El programa se caracteriza por la participación de pequeños y medianos propietarios de bosques y plantaciones forestales, y ha evolucionado para

favorecer las regiones con menores índices de desarrollo del país, con el fin de contribuir en la disminución de la pobreza.

La participación de los beneficiarios en el programa se caracteriza en general por no destinar la totalidad del área de su finca al PSA. Más bien se da una combinación con otras actividades tradicionales como cultivos o ganadería, por lo que se puede afirmar que este no es el único ni el principal ingreso para los mismos (Rodríguez, 2004).

El tipo de propietarios que han sometido al programa mayor área de tierras son las empresas y el grupo de propietarios individuales de sexo masculino. Se debe resaltar que el grupo de empresas incluye sociedades anónimas de todo tipo: corporaciones, negocios, sociedades familiares, y empresas propiamente dichas (Ortiz *et. al*, 2003) (Cuadro 3).

Cuadro 3. Distribución del número de contratos y del área contratada, según tipo de propietarios. Período 1997-2001.

Variables	CONTRATOS INDIVIDUALES				Reservas Indígenas*	Globales**
	Empresas	Mujeres	Hombres	ONG's		
Porcentaje de los Contratos	33,7	11,1	41,0	2,0	1,4	10,8
Porcentaje del Área	36,7	7,3	28,3	1,7	5,0	21,1
Área Promedio por contrato (ha)	112,7	68,2	71,5	88,9	359,7	202,4

Fuente: Ortiz *et. al*, 2003

*Contratos con Reservas Indígenas: son un tipo especial de contrato firmado entre FONAFIFO con una Asociación de Desarrollo Integral de una Reserva Indígena.

**Contratos Globales: son un tipo de contrato firmado entre FONAFIFO y una organización local. En el contrato global la organización representa a un grupo diverso de propietarios individuales de la tierra, y se encarga de hacer los pagos a los propietarios, hacer los planes de manejo, hacer la supervisión de campo, etc.

Los contratos con reservas indígenas son apenas un 1,4% del total de contratos, pero representan el 5% del total del área y es, además, el grupo con mayor área promedio por contrato sometida al programa. Adicionalmente, este grupo de propietarios es el que más ha incrementado su participación en el programa, pasando de un 1,22% en 1997 a un 13,52 % en el 2001. Los contratos globales representan sólo el 10,8 % de los contratos, pero han

cubierto el 21,1% del área contratada y es uno de los grupos con mayor área promedio por contrato (Ortiz *et. al*, 2003).

Algunos estudios (Saborio, 2003; Ortiz *et al*, 2003; Rodríguez, 2004.) han revelado que la participación de las mujeres al programa de PSA ha estado limitado por la falta de divulgación e información, capacitación y apoyo tanto en el proceso de selección como una vez dentro de este, además puede deberse a la escasez de mujeres propietarias de tierras.

Impacto del Programa de Pagos por Servicios Ambientales

En Costa Rica, el PSA ha logrado institucionalizar una nueva forma de entender el recurso forestal, ya que ha incorporado nuevas ideas sobre los servicios ambientales que prestan los bosques y las plantaciones forestales, lo cual es tomado en cuenta por el sector productivo, empresarial, y la sociedad en general.

Según FONAFIFO (2007), el programa PSA ha impactado positivamente en los siguientes aspectos:

- Reducción de la tasa de deforestación
- Recuperación de la cobertura forestal y tierras degradadas
- Mecanismo eficaz de lucha contra la tala ilegal
- Promoción de la producción y las exportaciones no tradicionales y aprovechamiento de mercados potenciales
- Promoción de la industria forestal.
- Contribución al desarrollo rural
- Contribución a las estrategias nacionales de lucha contra la pobreza
- Contribución al cumplimiento de las metas ambientales globales

En un estudio de Muñoz (2004), se encontró que un alto porcentaje de los campesinos encuestados (45,45%) que habían sometido sus terrenos a PSA (Protección y Manejo) en la Península de Osa durante 1997 y 1998 reconocen

muchos de los servicios que otorga el bosque, e incluso hablan acerca de la venta de oxígeno y el papel que juegan ellos no sólo como propietarios sino también como guarda bosques. Además, los mismos afirmaron que de no haber contado con la posibilidad del pago por servicios ambientales difícilmente hubieran conservado sus bosques.

El autor realizó una evaluación pluralista, “la cual permite al evaluador ilustrar los principios de distinción y los conceptos e interpretaciones que los sujetos producen desde su universo cultural al opinar sobre un proyecto o dar cuenta de los resultados del mismo” (Martinic, 1999, citado por Muñoz, 2004). Según Ballart (1992) (citado por Muñoz, 2004), esta evaluación centra su enfoque en la importancia de la pluralidad de los valores y de las opiniones de todos los actores que tienen que ver con el programa. El método de evaluación empleado se caracterizó por un examen detallado, comprensivo, sistemático, y en profundidad del caso, objeto de interés. Se seleccionaron los casos individuales de campesinos, en los que se realizó un proceso de indagación, comprensivo, sistemático y en profundidad (Muñoz, 2004).

Muñoz (2004) encontró que un 40,91% de los finqueros afirmó que gracias al PSA habían tenido un cambio de actitud hacia la visión del bosque, debido a que los conocimientos de este ecosistema habían mejorado y reconocen ahora sus funciones, no viendo al bosque como un sistema productor de madera, sino dando razón de las funciones ecológicas que poseen. Además, se encontró que los finqueros afirman que se sienten mejor sometiendo sus fincas a PSA “porque es una actividad productiva que es socialmente e institucionalmente aceptada”.

Camacho *et al* (2003), encontraron para tres estudios de caso en Costa Rica, que el programa de pago por servicios ambientales ha contribuido a revertir las tasas de deforestación.

Ortiz *et al* (2003) afirma que cerca del 100% de los encuestados en diferentes zonas del país piensa que para el país es importante el PSA debido a que

conserva la naturaleza, y en general se dice que los propietarios tienen una muy buena percepción del pago por servicios ambientales.

Mediante encuestas a propietarios con contratos de PSA-Protección; recopilación y análisis de información socioeconómica; y la implementación de grupos focales, el autor encontró que el 43% de los encuestados tenía su finca bajo protección, aún antes de someterla a PSA, específicamente en la modalidad de protección. Además, se menciona que muchos propietarios encuentran que la utilización de los suelos no es rentable para otras actividades productivas, lo cual puede significar que el PSA no sea necesariamente el único mecanismo para frenar la deforestación, ya que ellos mismos propician el desarrollo de cobertura forestal en zonas degradadas.

Miranda (2002), realizó un estudio de los beneficios de los programas por servicios ambientales en el Área de Conservación Cordillera Volcánica Central (ACCV). Se encontró que la importancia fundamental al bosque es como “productor” de agua. El ofrecer agua en cantidad y calidad aceptable -a alrededor de 150 000 habitantes ubicados aguas abajo del Virilla, quienes se benefician de las captaciones de agua de esta cuenca- es uno de los beneficios sociales directos más importantes del PSA en el Área de Conservación Cordillera Volcánica Central.

Otro beneficio mencionado, es la conceptualización, conjuntamente con su aplicación, que ha generado un rico proceso de crecimiento e innovación institucional en un corto período de tiempo (el PSA es entendido como un programa integral iniciado hace unas dos décadas con los incentivos forestales, que evolucionó a partir de 1996 hacia el pago por servicios ambientales). La innovación institucional se visualiza en el cambio de actitud de la sociedad costarricense en cuanto a la valoración de los recursos naturales.

METODOLOGÍA

Identificación del área de trabajo

De acuerdo al Censo Nacional 2000, Costa Rica se divide en 17 269 segmentos censales, los cuales están clasificados en cuatro categorías:

1. Urbano
2. Periferia urbana
3. Rural concentrado
4. Rural disperso

En el presente estudio, se consideraron las categorías 3 y 4 como segmentos rurales. No se tomaron en cuenta las categorías 1 y 2, dado que las posibilidades de encontrar contratos PSA en esas áreas son mínimas. Según Arriagada (s.f), solamente 8 contratos de la modalidad Protección de Bosque firmados entre 1998 y 2004 se encontraron en áreas urbanas, los cuales representan únicamente 0,24 % del número total de contratos PSA de dicha modalidad firmados en ese período.

Las zonas ocupadas por Áreas Protegidas, bajo alguna de sus categorías según la legislación costarricense, se excluyeron del estudio, ya que suponen áreas que no dependen de contratos de PSA para su conservación.

Según la clasificación del Censo Nacional, existen 8 214 segmentos rurales (Figura 2), los cuales poseen un promedio de área de 616 ha y una desviación estándar de 1 809 ha. El segmento rural más pequeño es de 0,45 ha y el más grande de 73 612 ha. Del total de segmentos rurales, solamente 11 (0,13%) son mayores a 17 000 ha, los cuales no se tomaron en cuenta para el análisis.



Figura 2. Mapa segmentos rurales de Costa Rica.

Del total de segmentos rurales, 1 065 segmentos poseen al menos un contrato PSA de la modalidad Protección de Bosque firmados en el período de 1998 y 2004, los cuales fueron los que se tomaron en cuenta para realizar el análisis propuesto.

En el Área de Conservación Tempisque, se escogieron en total 192 segmentos, con un promedio de 1610,6 ha y un total de 309 230,1 ha. En el Área de

Conservación Osa, se escogieron en total 34 segmentos, los cuales poseen un promedio de 1 927,1 ha y suman en total 65 521,9 ha. Las Figuras 3 y 4 muestran los segmentos rurales en el Área de Conservación Tempisque y el Área de Conservación Osa.

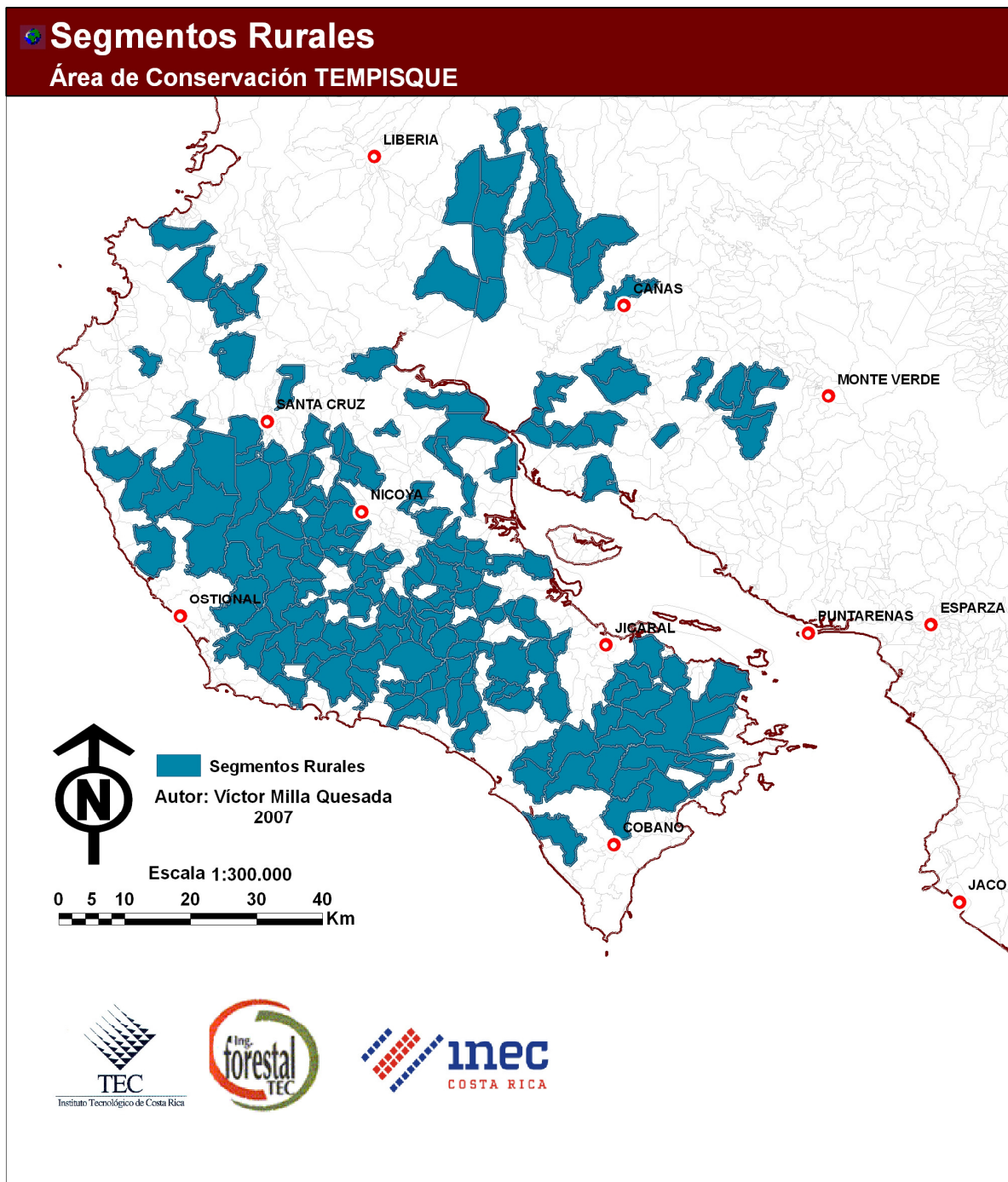


Figura 3. Mapa segmentos rurales escogidos para el análisis en el Área de Conservación Tempisque.

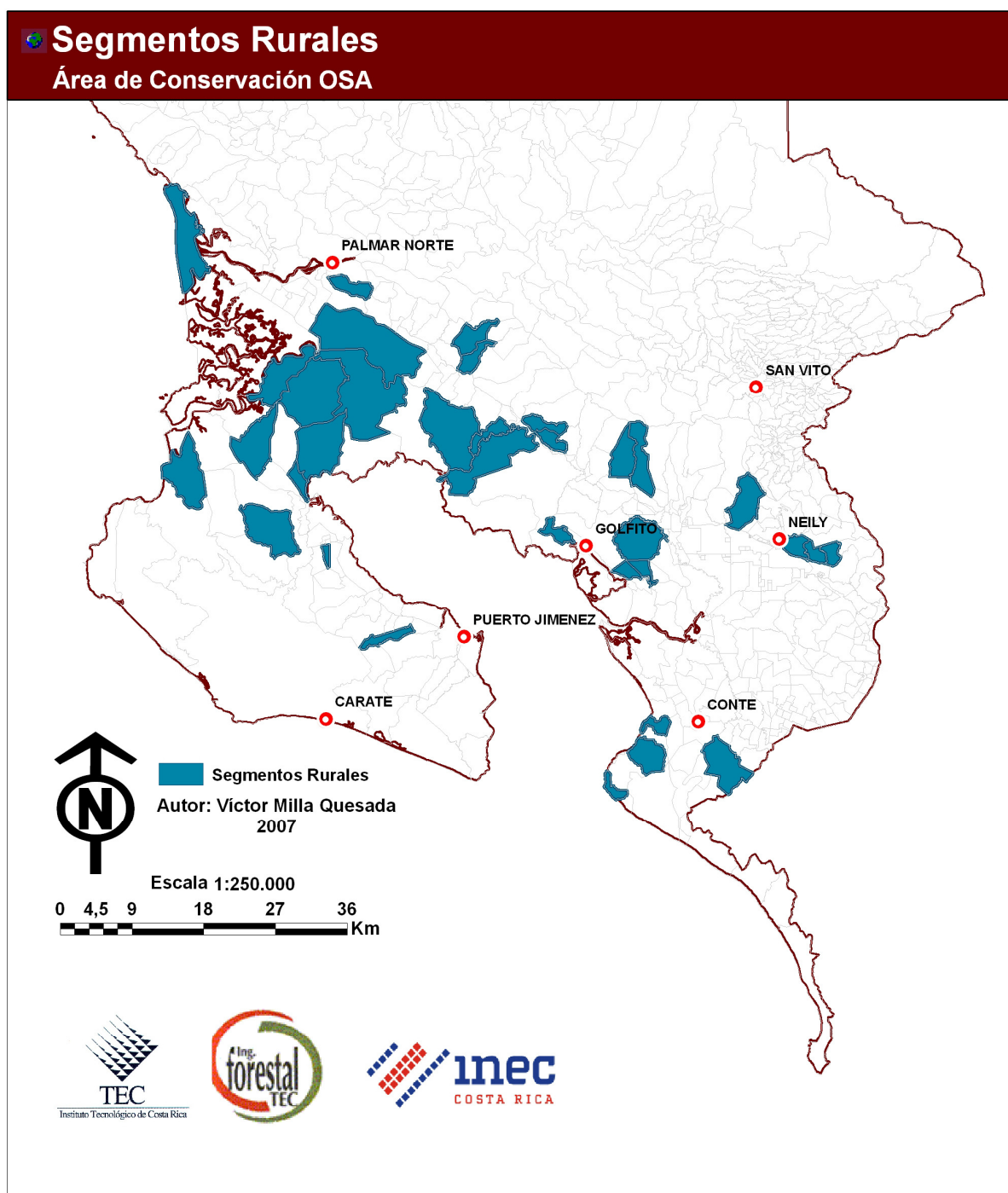


Figura 4. Mapa segmentos rurales escogidos para el análisis en el Área de Conservación Osa.

El Área de Conservación Arenal-Tempisque fue constituida en octubre de 1991 y abarca aproximadamente 387.515.47 hectáreas; que equivale al 7.58% del territorio nacional. De toda la extensión territorial del Área; actualmente el

25.31% lo constituyen las áreas silvestres protegidas y el 74.69% corresponde al área de influencia (ACAT, 2008).

Debido al variado relieve altitudinal (del nivel del mar hasta 2080 msnm), al régimen climático y presencia de formaciones geológicas de diferentes edades; en el área están presentes una alta diversidad de ambientes, ecosistemas y especies, distribuidos en 8 zonas de vida diferentes que van del bosque tropical seco al bosque pluvial montano bajo, con igual número de zonas en transición ecológica. En cuanto a formaciones vegetales existe una amplia gama entre ellos están: el manglar, pantano herbáceo, bosque deciduo, bosque siempre verde de bajura, sabanas arboladas, bosque mixto sobre colinas calcáreas, bosque de galería, bosque anegado, bosque semideciduo, bosque tropical seco, bosque húmedo perennifolio y bosque nuboso (ACAT, 2008).

Están presentes las 6 especies de felinos silvestres del país. Se han identificado alrededor de 190 plantas que están presentes en el Área de Conservación que son endémicas de Costa Rica, algunas de ellas son endémicas del Área. Solo en Monteverde están representadas 70 de las 103 familias de árboles reportadas para el país y el 21.23% de las especies de orquídeas reportadas (ACAT, 2008).

La Península de Osa se ubica en la parte sur de la costa Pacífica de Costa Rica. Con una altitud máxima de 782 m.s.n.m., se caracteriza por tener sectores de topografía abrupta y quebrada y sectores planos con humedales. Es una región muy lluviosa (Arias en prep., citado por Rosero-Bixby *et al*, 2002), cerca del 70% de las tierras tienen capacidad de uso forestal (Maldonado en prep., citado por Rosero-Bixby *et al*, 2002). En la región se registra aproximadamente un tercio de las especies de árboles de Costa Rica, incluyendo la mitad de las especies amenazadas. Se estiman entre 4 000 - 5 000 las especies de plantas vasculares en la Península (Herrera y MacBryde *et al*, 1997). La variedad de fauna es excepcional: se han registrado 375 especies de aves (18 de las cuales son endémicas), 124 especies de mamíferos (más de 50 son murciélagos), 40 especies de peces de agua dulce, aproximadamente 8

000 especies de insectos (Mansour, 1995), 71 especies de reptiles y 46 especies de anfibios (Soto en prep., citado por Rosero-Bixby *et al*, 2002).

Selección y obtención de fotografías aéreas

Debido a que el objetivo fue determinar cambios de uso de la tierra y la influencia del PSA (implementado en 1997) en estos cambios, se decidió trabajar con fotografías aéreas de 1992 (Misión DMA) y del 2005 (Misión Carta), logrando obtener resultados antes y después del inicio del programa.

La selección de fotografías del 2005 se realizó con el uso del software ArcMap 9.2. Se utilizó el archivo shape de polígonos de la Misión Carta 2005, el cual contiene la información detallada de cada fotografía aérea, y el archivo shape de los segmentos rurales definitivos. Las fotografías escogidas están disponibles en el Laboratorio de Sistemas de Información Geográfica de la Escuela de Ingeniería Forestal del Instituto Tecnológico de Costa Rica. Las fotografías que no se encontraron en el Laboratorio de Sistemas de Información Geográfica se adquirieron en el Centro Nacional de Alta Tecnología (CENAT).

La selección de fotografías de 1992 se realizó mediante el Instituto Geográfico Nacional (IGN). Se entregaron al IGN mapas donde se detallaron las áreas cubiertas por los segmentos censales definitivos para cada área de conservación, para obtener al final un listado preliminar de las fotografías que cubrían dichos segmentos. El listado preliminar incluyó fotografías disponibles en el Laboratorio de Sistemas de Información Geográfica, las cuales se escanearon. Las fotografías restantes fueron compradas al IGN, obteniéndolas en formato digital.

Dado que el proceso de escaneo en el IGN fue realizado a una resolución de 600 d.p.i, al contratar el servicio de escaneo para las fotografías que se contaban en el Laboratorio de Sistemas de Información Geográfica se solicitó la misma resolución, obteniendo productos homogéneos.

La dinámica de dicho proceso, incluyó varias visitas al IGN y a centros de escaneo, así como también rectificación de fotografías antes seleccionadas, las cuales en algunos casos se corrigieron, eliminaron, o sustituyeron por otras de mejor calidad y/o con mejor cobertura.

El sensor remoto utilizado para el presente estudio en la misión DMA de 1992 fue una cámara Wild RC10, la cual cuenta con un lente de 304,677 mm, mientras que para la misión Carta 2005 se utilizó la información de la cámara digital DCS, con un lente de 50 mm.

Obtención de imágenes satelitales

La información de cobertura del año 1992 en el Área de Conservación Tempisque fue obtenida mediante el uso de una imagen satelital Landsat 5, disponible en el Laboratorio de Sistemas de Información Geográfica de la Escuela de Ingeniería Forestal del ITCR.

La imagen cubre toda el área en estudio, y parte del Área de Conservación Guanacaste, Arenal-Tilarán y Pacífico Central. La misma cuenta con 3 bandas de color. Se encuentra georeferenciada en el sistema de coordenadas Costa Rica Lambert Norte con el Datum Ocotepeque. La resolución espacial de la imagen es de 36 x 36 metros¹.

Ortorectificación y georeferenciación

La ortorectificación se realizó con el software Erdas Imagine 8.5. Se siguió la metodología citada por Tapia (2007). El primer paso consistió en convertir la fotografía al formato Erdas Imagine “.IMG”, el cual utiliza el software para trabajar.

¹ Obtenido del MetaData del software ArcMap 9.2

Para cada fotografía se creó un proceso de georeferenciación antes del proceso de ortorectificación. La información de los puntos de control introducidas en el primer proceso se adquirió de las Hojas Cartográficas escala 1:50 000 y del software Google Earth.

Al terminar el primer proceso, se georeferenciaron de forma individual las fotografías en donde la topografía fue moderada, aproximadamente elevaciones menores a 100 metros sin cambios bruscos de pendientes, mientras que para las fotografías con condiciones topográficas distintas a las mencionadas se creó un proyecto de ortorectificación, utilizando los mismos puntos de control, con la diferencia de que se incluyen las elevaciones para cada punto y un Modelo de Elevación Digital (MED) para generar el producto final.

Se utilizó el Modelo de Elevación Digital (MED) elaborado por la NASA (National Aeronautics and Space Administration) de 30 x 30 metros para realizar la ortorectificación de las fotografías aéreas. El MED utilizado fue facilitado por el Laboratorio de Sistemas de Información Geográfica de la Escuela de Ingeniería Forestal del Instituto Tecnológico de Costa Rica.

Al crear el proceso de ortorectificación, el paso inicial consistió en definir qué tipo de cámara se utilizó, en el caso de la Misión DMA (1992) esta fue del tipo "Frame Camera", mientras que la Misión Carta (2005) fue "Digital Camera". Seguidamente se escogió trabajar con el Sistema de Proyección Costa Rica Lambert Norte y se introdujo la altura promedio del vuelo para las fotografías.

Una vez completada esta etapa, se procedió a cargar las fotografías (en la mayoría de los casos se utilizaron dos fotografías por cada proyecto de ortorectificación, las cuales al encontrarse sobrepuestas en un determinado porcentaje de área, se logró obtener un mejor producto final).

Posteriormente se definieron los distintos parámetros para cada fotografía, donde se incluyen el tipo de cámara (contiene la información del largo del lente), orden y número de las marcas fiduciales (en el caso de fotografías de

1992) y tamaño de los pixeles de la orientación interior (en el caso de fotografías del 2005).

Seguidamente se introdujeron los puntos de control obtenidos del proceso de georeferenciación para cada fotografía, junto a la elevación de cada uno obtenida del Modelo de Elevación Digital (MED).

Al finalizar la introducción de los puntos de control se generaron los “Tie Points”, los cuales consisten en puntos comunes para ambas fotografías, que ayudan a disminuir el error asociado del proceso mismo. Al tener todos los puntos en el proyecto, se calculó el error de triangulación y se procedió a generar el producto final con la sobre posición del MED para cada foto.

Las fotografías del 2005 que presentaron problemas con la obtención de puntos de control, se ortorectificaron con la información de las coordenadas de los vértices del shape de polígonos de la Misión Carta 2005, para la respectiva fotografía. En el caso de las fotografías de 1992 con esta misma condición, se eliminaron del análisis junto al segmento que cubrían.

Para las fotografías con una cobertura de nubes mayor al 25% y que incluso se dificultó rotarlas para utilizar la información de los vértices para su ortorectificación, se eliminaron del análisis junto al segmento que cubrían.

Fotointerpretación Área de Conservación Tempisque

La determinación del uso de la tierra en 1992 del Área de Conservación Tempisque se realizó mediante el software ENVI 4.4, con el proceso Feature Extraction.

Este proceso es un módulo para extraer información de imágenes y/o fotos multiespectrales basadas en características espaciales y espectrales. A su vez, permite ahorrar tiempo y recursos en el proceso de la fotointerpretación. La

opción de ver preliminarmente el resultado final, permite corregir los resultados para adecuarse a las necesidades del producto esperado.

El ENVI Feature Extraction aparte de utilizar características basadas en píxeles, utiliza una aproximación basada en objetos para clasificar la imagen, como lo son las texturas, el color y la nitidez que definen ciertas regiones, permitiendo extraer múltiples objetos a la vez.

Para la imagen satelital utilizada, se extrajeron grupos de píxeles para clasificar los objetos de forma supervisada. Se crearon áreas de entrenamiento, debidamente identificados en la imagen. La información de las áreas de entrenamiento se utilizó para clasificar la totalidad del área de la imagen a evaluar.

Inicialmente, se cortó la imagen según los segmentos censales previamente definidos, permitiendo obtener un producto con menor número de características espectrales, que a su vez mejoró la clasificación realizada con el software.

La imagen satelital cortada, se exportó con el formato utilizado por ENVI, definiendo los parámetros de la proyección Costa Rica Lambert Norte, como los utilizados por dicha imagen.

El primer paso del proceso Feature Extraction, consistió en dividir la imagen en segmentos, agrupando píxeles vecinos con valores similares espectrales (brillo, textura, color, etc.). Estos segmentos idealmente corresponden a objetos reales. Para esta segmentación, se ajustaron los límites de los mismos con un nivel de escala de 60.

El segundo paso del proceso, consistió aplicarle un *Merge* a la segmentación, permitiendo agrupar segmentos pequeños con segmentos más grandes, que por las características espectrales, fueran similares. El parámetro utilizado en este paso, representa el valor del umbral Lambda, con una escala que varía de 0.0 a 100.0, en este caso se utilizó un valor de 80.

El tercer paso, fue el de refinar la segmentación, mediante un *Thresholding*, utilizado cuando todavía no se tiene un resultado óptimo del paso anterior. Este proceso es útil para extraer objetos de puntos, tales como automóviles, casas o edificios, que contengan valores espectrales con altos contrastes en comparación con el fondo de la imagen. En este caso, se escogió la opción de no realizar el *Thresholding*, debido a que los objetos de interés a clasificar, no corresponden con las características antes señaladas.

El paso final, consistió en definir qué atributos espectrales se utilizarían para la clasificación de cada objeto o grupo de píxeles. Estos atributos se utilizan para ayudar en la definición de las clases de uso de la tierra en una clasificación supervisada, como fue el caso en este estudio. Los tipos de atributos escogidos para clasificar los objetos fueron *Spatial, Spectral, Texture y Color Space and Band Ratio*.

Una vez agrupados los objetos por las características definidas en los cuatro pasos anteriores, se procedió, mediante la opción de clasificación por selección de ejemplos (clasificación supervisada), a crear las áreas de entrenamiento para cada categoría de uso. En total, se utilizaron 3 442 áreas de entrenamiento, siendo las categorías de Bosque Natural y Potreros, a las cuales se le aplicaron en mayor cantidad (1 715 y 1 625 respectivamente). Las demás categorías con áreas de entrenamiento fueron Cultivos Agrícolas (62), Humedales (16), Nubes (11), Sombras (8) y Agua (5).

Fotointerpretación Área de Conservación Osa

La fotointerpretación se realizó con el uso del software ArcMap 9.2.

Se sobrepuso cada segmento rural, con la respectiva fotografía o imagen satelital que lo cubriera, tanto para 1992 como para el 2005. Cada segmento se hizo editable y mediante el comando “Cut Polygon Features”, se digitó en pantalla nuevos polígonos según la cobertura presente en la(s) fotografía(s).

Las fotografías de 1992 (escala 1:60 000) y las fotografías del 2005 (escala 1:25 000) se trabajaron a una escala de 1:5 000.

Los nuevos polígonos se clasificaron con base en la fotointerpretación de las fotografías, para ello se tomó en cuenta todos los elementos que las constituyen: textura, colores y tonos, sombras, contexto, formas y tamaños, etc.

Se utilizó la siguiente clasificación para las fotografías aéreas:

Uso Forestal

- Bosque Natural = bosque secundario, bosque intervenido y no intervenido
- Humedal = zona de la superficie terrestre que está temporal ó permanentemente inundada

Uso No Forestal

- Cultivo agrícola = cultivos de piña, plantas ornamentales, palma, otros
- Potreros = pastos con o sin árboles

Otros

- Reforestación = plantaciones forestales
- Zona urbana = áreas cubiertas de construcciones realizadas por el hombre
- Playa = ribera del mar o de un río grande, formada de arenales en superficie casi plana
- Áreas que no pudieron ser clasificadas debido a la falta de cobertura de fotografías aéreas o por la presencia de nubes y sombras.

Agua

- Río = corriente de agua continua
- Mar = porción determinada de agua salada adjunta a la playa
- Lago = masa de agua presente en hondonadas de terreno

Análisis de uso de la tierra para el Área de Conservación Tempisque

La comprobación de la exactitud de los resultados finales se realizó por medio de la elaboración de una matriz de error. Mediante la extensión Howths Tool's para ArcMap, se crearon 100 puntos al azar en formato shape, dentro del área estudiada. Para cada punto, se comparó la categoría de uso de la imagen, con la categoría de uso obtenida mediante el proceso de Feature Extraction. Los resultados de dicha comprobación se utilizaron para crear la matriz de error.

La matriz de error se conforma de filas y columnas en donde se ubican los valores que expresan el número de píxeles de referencia asignados a una categoría particular, en relación con la verdadera categoría verificada con la información auxiliar (Speranza y Zerda, s.f).

La obtención de la exactitud total, se generó mediante el uso de dos estadísticos de precisión:

Exactitud del productor: se calculó realizando la división entre el número total de píxeles clasificados correctamente en una categoría y el número total de píxeles de esa categoría, según la fórmula:

$$PP\% = \frac{X_{ii}}{X_{+i}} \times 100$$

Donde:

PP% = es la precisión del productor en porcentaje

X_{+i} = los totales marginales de la columna i

X_{ii} : es el valor de la diagonal de dicha columna

Este estadístico indica la probabilidad de que un píxel de referencia sea correctamente clasificado. Es una medida del error de omisión (Jensen, 1996) que se produce cuando un píxel posee en el terreno una cobertura determinada y no es asignado en el mapa a esa clase.

Exactitud del usuario: el cálculo se efectuó dividiendo el número total de píxeles correctos en una categoría entre el número total de píxeles que son efectivamente pertenecientes a esa categoría, utilizando la siguiente fórmula:

$$PU \% = \frac{X_{ii}}{X_{i+}} \times 100$$

Donde:

PU%: es la precisión del usuario en porcentaje

X_{i+} : totales marginales de la fila i

X_{ii} : la diagonal de dicha fila

Esta medida muestra la probabilidad de que un píxel clasificado en el mapa verdaderamente represente esa categoría en el terreno (Story y Congalton, 1986).

El análisis de la probabilidad de que los resultados de la matriz de error proveniente de la clasificación supervisada fueran producto del azar, se efectuó mediante el cálculo estadístico Kappa (K_{hat}), el cual mide la diferencia entre el acuerdo mapa-realidad observado, y el que podría ser producto simplemente del azar.

K_{hat} se calcula con la fórmula:

$$K_{hat} = \frac{N \times \sum_{i=1}^r X_{ii} - \sum_{i=1}^r (X_{ii} \times X_{+i})}{N^2 - \sum_{i=1}^r (X_{i+} \times X_{+i})}$$

Donde:

r es el número de filas en la matriz

X_{ii} es la suma de observaciones en la fila i, y columna i (los valores en la diagonal mayor)

X_{i+} es el total de observaciones en la fila i (el total en la fila i a la derecha de la matriz)

X_{+i} es el total de observaciones en la columna i (total en la columna i debajo de la matriz)

N es número total de observaciones o puntos de control usados en la validación

Un valor de $K_{\text{hat}} = 1$ indica un total acuerdo entre la clasificación hecha en el mapa y la realidad, mientras que un valor de 0 sugiere que los acuerdos en la clasificación mostrados en la diagonal mayor son producto del azar.

Análisis de uso de la tierra para el Área de Conservación Osa

Con la información del uso de la tierra en los dos años, se calculó la tasa de cambio anual neta para todas las categorías.

La tasa de cambio anual neta se calculó con la fórmula (Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y Alimentación 1996 citado por Dupuy, *et al*, 2006):

$$r = \left\{ \left[1 - \frac{\sum P - \sum G}{A_1} \right]^{1/n} - 1 \right\} \times 100$$

Donde:

r = tasa porcentual de cambio anual

n = número de años entre ambas fechas

$\sum P$ = sumatoria de las áreas de la categoría analizada que cambiaron a diferente categoría

$\sum G$ = sumatoria de otras coberturas que cambiaron a la categoría analizada

A_1 = Área de la categoría analizada al comienzo del período

Relación capacidad de uso – uso de la tierra

Para determinar la capacidad de uso de la tierra y su relación con los usos encontrados en el Área de Conservación Osa, se utilizó la información basada en el Atlas 2004 (Ortiz, 2004) con la capa de Capacidad de Uso. Dicha capa está basada en la metodología oficial para determinar la capacidad de uso de la tierra (Decreto N° 23214-MAG-MIRENEM), donde se indican las siguientes categorías (MAG, 1996):

- Clase I: Se incluyen tierras que no presentan ningún tipo de limitaciones para la producción agrícola, pecuaria o forestal adaptadas ecológicamente a la zona, sin deterioro de la capacidad productiva de la tierra.
- Clase II: Permiten el desarrollo de casi cualquier actividad agropecuaria o forestal ecológicamente adaptada al lugar, pero con ligeras limitaciones que pueden reducir en algunos casos la elección de cultivos.
- Clase III: Permiten el desarrollo de cultivos limpios pero con prácticas muy intensas de manejo y/o conservación.
- Clase IV: Esta tierra debe usarse en vegetación permanente y semipermanente debido al grado de limitaciones que presenta para el desarrollo de cultivos limpios y fuertes prácticas de manejo y/o conservación de suelos.
- Clase V: Permite el desarrollo de vegetación permanente especialmente la ganadería.
- Clase VI: Terrenos utilizables para la producción de cultivos perennes y forestería con prácticas intensivas de manejo y conservación de suelos.
- Clase VII: Por su alto riesgo de degradación sólo se permite la obtención en forma controlada de productos derivados de su vegetación natural, como el manejo del bosque.
- Clase VIII: Tierras que no reúnen las condiciones mínimas para ninguna actividad agropecuaria o forestal. Tienen utilidad como zonas de preservación de flora y fauna, captación de acuíferos y belleza escénica.

Se realizó una intersección de los segmentos utilizados y la capa de Capacidad de Uso. Esta intersección se realizó con el comando Intersect disponible en la herramienta ArcToolbox del software ArcMap 9.2.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Área de Conservación Tempisque

Uso de la tierra

El proceso de clasificación supervisada con el software ENVI, permitió obtener el siguiente mapa (Figura 5):

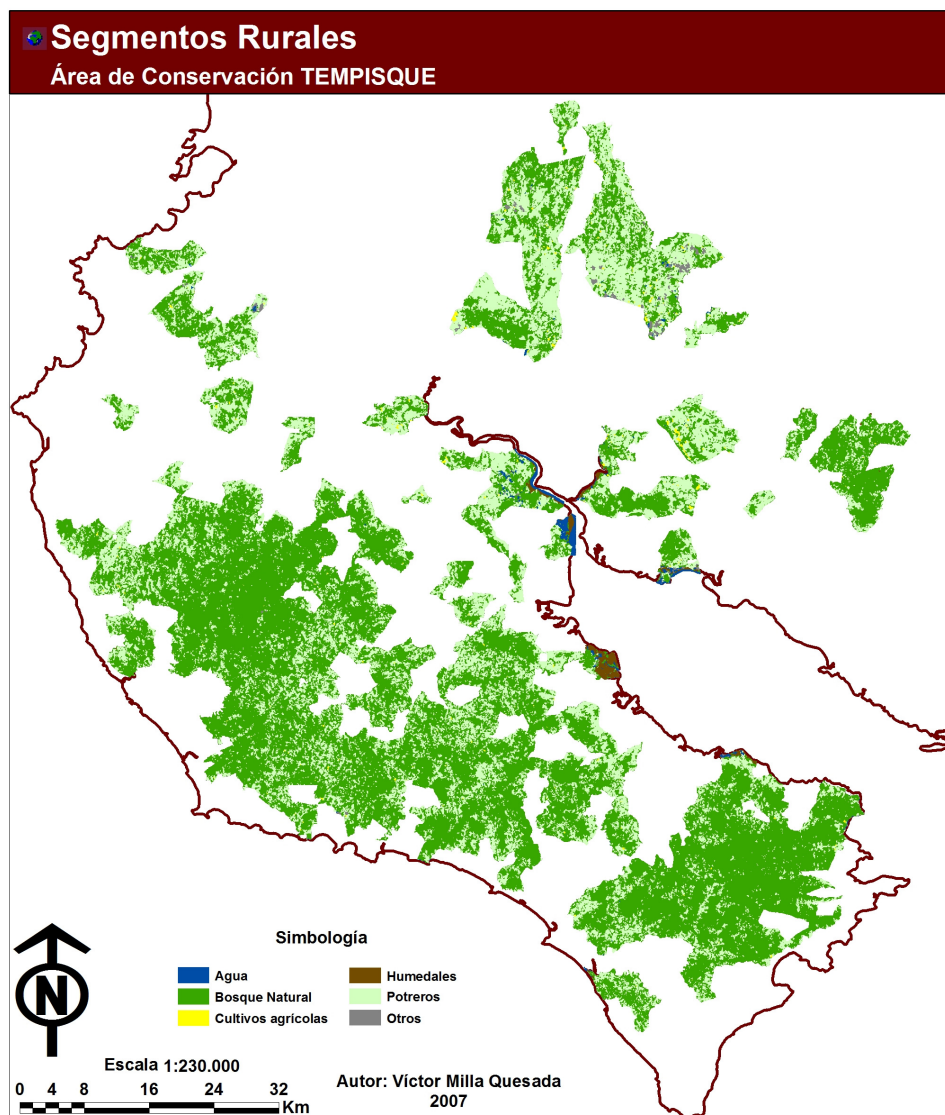


Figura 5. Mapa de la clasificación supervisada de una Imagen Landsat 5 de 1992 para el Área de Conservación Tempisque.

El Cuadro 4 muestra los resultados obtenidos de uso de la tierra para 1992 en el Área de Conservación Tempisque.

Cuadro 4. Uso de la tierra para 1992 en 309 230 ha en el Área de Conservación Tempisque.

Clase	Área (ha)	Porcentaje
Bosque Natural	200 040,7	64,7
Potreros	103 011,8	33,3
Otros	2 036,0	0,7
Agua	1 746,7	0,6
Humedales	1 397,9	0,5
Cultivos Agrícolas	997,1	0,3
Total	309 230,1	100,0

La Categoría Bosque Natural presentó la mayor cobertura, representada por un 64,7% del área total. Seguidamente se encuentra la categoría Potreros con un 33,3%, y las categorías Agua, Humedales y Cultivos Agrícolas que no superan individualmente el 0,7% del área total.

Matriz de error

Los resultados obtenidos mediante el uso de puntos de control aleatorios, se muestran en la siguiente matriz de error (Cuadro 5):

Cuadro 5. Matriz de error para evaluar la exactitud de los resultados finales de la clasificación supervisada de ENVI para el Área de Conservación Tempisque.

Clase	Información de campo					TOTAL
	Agua	Bosque	Humedales	Nubes	Potreros	
Agua	2					2
Bosque Natural		66			2	68
Humedales			1			1
Nubes				1		1
Potreros					28	28
TOTAL	2	66	1	1	30	100

La aleatoriedad de los puntos de control creados, determinó las clases de uso que se utilizaron en la construcción de la matriz de error, por lo que en esta no aparecen todas las clases de uso determinadas en la imagen satelital.

En la matriz anterior se observa que el 66% de los puntos de control utilizados representaron la categoría de Bosque Natural. El 30% fue para la categoría Potreros, y las clases Agua, Humedales y Nubes, presentaron valores de 2%, 1% y 1% respectivamente.

Exceptuando la categoría Bosque Natural, las demás clases de uso coincidieron en un 100% entre la clasificación obtenida y la realidad de la imagen satelital. Para esta primera categoría, se presentaron dos puntos de control que se clasificaron como Potreros, siendo en la realidad Bosque Natural.

En este caso, estas dos muestras representaron píxeles con un valor espectral muy similar al promedio que tuvo la clase Potreros en las áreas de entrenamiento creadas. Además, al contar en la imagen únicamente con tres bandas de color y una resolución no muy detallada, estos puntos que constituyeron un error en la clasificación supervisada, pueden perfectamente coincidir con la clasificación, perteneciendo a la clase Potreros. Sin embargo, esto es un supuesto, donde la interpretación visual de la imagen en la realidad, está basado en los atributos espectrales que la persona pueda captar.

Estadísticos de exactitud

Los resultados de los estadísticos de exactitud utilizados se muestran en el Cuadro 6.

Cuadro 6. Estadísticos de exactitud utilizados para evaluar la información resultante de la matriz de error.

Exactitud del productor			Exactitud del usuario		
Agua	$(2/2)*100=$	100,0	Agua	$(2/2)*100=$	100,0
Bosque	$(66/66)*100=$	100,0	Bosque	$(66/68)*100=$	97,1
Humedales	$(1/1)*100=$	100,0	Humedales	$(1/1)*100=$	100,0
Nubes	$(1/1)*100=$	100,0	Nubes	$(1/1)*100=$	100,0
Potreros	$(28/30)*100=$	93,3	Potreros	$(28/28)*100=$	100,0
Exactitud Total		$((2+66+1+1+28)/106)*100=$	92,5		

La exactitud del productor muestra que para la clase de uso Bosque Natural (más representativa), la probabilidad que un píxel fuera clasificado correctamente fue de un 100%. Esta misma probabilidad se aplica para las clases Agua, Humedales y Nubes. La probabilidad para la categoría Potreros fue de un 93,3%, debido a los dos puntos de control clasificados dentro de esta categoría que representaban Bosque Natural en la realidad.

La exactitud del usuario indicó que para las categorías Agua, Humedales, Nubes y Potreros, un píxel clasificado en el mapa, verdaderamente representó esa categoría en el terreno, con un 100% de probabilidad. En el caso de Bosque Natural, el valor fue de un 97,1%.

En general, la exactitud total obtenida, indica que un 92,5% de la clasificación obtenida representa la realidad del terreno.

Análisis de probabilidad de la matriz de error

El análisis de probabilidad mediante el estadístico Kappa (K_{hat}) (Anexo 8), indicó que para un 96% de confianza, existen diferencias estadísticas significativas en la metodología de clasificación utilizada. Es decir, se afirma con un 96% de confianza, que la metodología presenta resultados con un 92,5% de exactitud.

Los resultados obtenidos presentan valores similares a los encontrados por diferentes estudios en Costa Rica. En un estudio realizado a nivel nacional, mediante el uso de imágenes Landsat 5, se evaluó el 95% del territorio costarricense, mediante 89 puntos de control, logrando una exactitud del 89%, entre la clasificación supervisada utilizada, y el uso real del terreno (Sánchez *et al*, 2001). OET (2000), en una clasificación para el área de la Cuenca del Río Tempisque, utilizando imágenes Landsat 7 del año 2000, obtuvo un resultado de exactitud de 94,4%. Gallo (1999), obtuvo para la identificación de tipos de bosques primarios en la Zona Norte de Costa Rica, una precisión de 89%.

Leclerc (1996) encontró, para Costa Rica, a partir de una clasificación realizada con una imagen Landsat TM, una precisión del 77%.

Las diferencias que se pueden encontrar entre lo representado en una clasificación supervisada y la realidad, se deben muchas veces al tipo de ecosistema que se evalúa.

En estudios anteriores se ha demostrado que las clasificaciones de imágenes Landsat TM pueden presentar buenos resultados en áreas más homogéneas que los bosques. Se indica que la clasificación basada únicamente en la variabilidad espectral de los datos no es adecuada cuando se trata de bosques tropicales, ya que los valores de reflectancia de los píxeles contiguos pueden ser muy diferentes y como consecuencia se produce un mosaico de clases en lugar de límites claros entre las coberturas de la tierra (Tuomisto *et al*, 1994; Brondzio *et al*, 1996).

Se señala que esto puede deberse a tres razones: en primer lugar al relieve del terreno que en los climas húmedos producen cambios considerables en el drenaje y por lo tanto en el tipo de vegetación que se desarrolla; en segundo lugar los claros en los bosques son frecuentes y el bosque puede ser visto como un mosaico complejo de parches de bosques de diferentes edades; y por último la rugosidad del dosel debida a la presencia de árboles emergentes puede afectar de modo diferente los valores de reflectancia de los píxeles individuales (Tuomisto *et al*, 1994).

Puig (1996) concluye que las estimaciones realizadas para la cuantificación de superficies de diferentes tipos de bosques podría conducir a resultados sobre o subvalorados. Gallo (1999) indica que este problema de la presencia de grandes errores de clasificación cuando esta es realizada sólo a partir de la respuesta espectral puede ser corregido, por medio de la utilización de datos auxiliares integrados en un SIG. El autor menciona que para un estudio realizado en la Zona Norte de Costa Rica, la inclusión de un Modelo de Elevación Digital (MED) a la clasificación supervisada, aumentó en un 17,8% y

un 23,9% la precisión total, respectivamente para cada metodología de clasificación utilizada.

Dentro de los datos auxiliares, los datos topográficos son relativamente constantes a través del tiempo, de manera que, una vez obtenidos, pueden ser usados en múltiples aplicaciones (Skidmore, 1989). Además es de esperar que exista gran relación entre la distribución de la vegetación y su posición topográfica (Kahn y Mejía, 1991; Warner *et al*, 1994; Clark *et al*, 1995; Lieberman *et al*, 1996; Clark, 1998).

La inclusión de datos auxiliares constituye una ventaja, que sin embargo está determinada en primera medida por la disponibilidad y calidad de estos datos.

En el último informe presentado por GRUAS II, para el Área de Conservación Tempisque, se indica que el 60% del AC tiene cobertura natural por medio de la recuperación. El 38% de tierras que se consideran con cobertura alterada son áreas dedicadas a pastoreo extensivo que aún queda en la zona, así como la aparición reciente de monocultivos principalmente de melón y otras tierras que han sido dedicadas a plantaciones forestales cuya especie dominante es la teca (SINAC, 2007).

En dicho estudio se considera que se ha estado alcanzando la restauración de la cobertura natural de buena manera, por lo que es necesario fortalecer las iniciativas existentes e impulsar iniciativas nuevas en zonas de interés (SINAC, 2007).

Los resultados del presente estudio indicaron que los segmentos clasificados como PSA, presentaron en 1992 como mayor porcentaje de uso de la tierra, la clase Bosque Natural.

Los resultados del informe GRUAS II muestran que el área evaluada, a pesar de presentar un desarrollo urbano en crecimiento en los últimos años, donde las zonas costeras se han convertido en uno de los destinos turísticos más

visitados del país, el Bosque Natural ha permanecido como el mayor uso de la tierra.

Los índices de deforestación que venía sufriendo el país, y que el periodo de 1969 a 1986 se calculaba en 60 000 ha/año (Ortiz *et al*, 2003), indican que en comparación con las últimas dos décadas, se ha observado un cambio positivo hacia la conservación de los recursos naturales en el país, donde por la implementación de diferentes políticas, entre ellas la deducción del impuesto de la renta (1979-1986), y los certificados de abono forestal (1986-1995), se ha logrado contrarrestar la degradación de los bosques naturales.

La implementación de los PSA, como evolución de las políticas antes mencionadas, es en gran medida responsable de la preservación del área de bosques con que hoy cuenta Costa Rica. Rodríguez (2004) indica que en este sentido el reto de la próxima década es consolidar el programa de PSA como un mecanismo financieramente sostenible para asegurar los corredores biológicos que permitan la recuperación que hasta ahora se ha dado de manera fragmentada, logrando además la conectividad de las áreas silvestres protegidas por el Estado.

Algunas de las razones encontradas por otros autores (Ortiz *et al*, 2003; Camacho *et al*, 2003) que se podrían inferir del por qué los PSA han colaborado en la disminución de las tasas de deforestación en el Área de Conservación Tempisque, y en forma general, a nivel nacional son:

- Un alto porcentaje de beneficiarios no dependen de los ingresos que perciben del programa, por lo tanto van a mantenerse dentro de él
- Existe una gran conciencia de conservación de los ecosistemas boscosos
- Un alto porcentaje de fincas bajo esta modalidad, no poseen otra actividad rentable que genere ingresos diferentes a los incentivos del programa

Ortiz *et al* (2003) indican que independientemente del perfil socioeconómico de las personas beneficiarias del PSA, estas estarían dispuestas a conservar el bosque a pesar de que no se les pagara por hacerlo. Esto puede estar ligado a que la gran mayoría de los propietarios no viven en la finca y tampoco trabajan en ella, lo cual parece indicar que los beneficiarios del programa PSA-Protección, son propietarios absentistas que no dependen de forma directa de sus fincas para generar sus ingresos, lo cual se podría traducir en que los PSA funcionan como un mecanismo para detener la deforestación en Costa Rica.

Este panorama constituye sin duda una de las principales fortalezas del PSA, ya que sus beneficiarios aparte de cumplir una función de conservadores directos de los bosques tropicales, son fuente de expansión del programa, aumentando así la conciencia conservacionista entre dueños de bosques privados.

Área de Conservación Osa

Para el Área de Conservación Osa, se ortorectificaron 33 fotografías aéreas de 1992 y 92 fotografías aéreas del 2005. Para el año 1992, las fotografías cubrieron un 97,5% del área total, y para el 2005 un 93,5%. Entre las razones para que las fotografías no cubrieran el 100% del área, se encontraron que algunas presentaban nubes, sombras, o faltaba parte del área estudiada, en las misiones aéreas de ambos años. En total, para 1992 no se clasificaron 1 622 ha y para el 2005 esta área fue de 4 290 ha.

En los dos años de estudio de las fotografías aéreas, se presentaron varias fotos que cubrían un solo segmento, para lo cual se escogió la que presentara mejor cobertura, tomando en cuenta aspectos como textura, nitidez y brillo de la fotografía, esto a su vez permitió no descartar segmentos que de lo contrario, por problemas de cobertura, pudieron haber sido eliminados.

El resultado de las categorías clasificadas, diferentes a Bosque Natural, Potreros, Cultivos Agrícolas y Humedales, se agruparon en una muestra más pequeña, que fuera significativa para la estimación de los resultados. Las categorías agrupadas dentro de la categoría Otros, fueron Nubes, Playa, Reforestación, Sombras, Zona Urbana y Falta Cobertura. Dentro de la categoría Agua, se agruparon las categorías Mar, Lago y Ríos.

Todas las categorías que fueron agrupadas en Otros y Agua, para 1992 sumaron un total de 3 258 ha y 808 ha respectivamente, mientras que para el 2005, el área fue de 8 516 ha para Otros y 1 375 ha para Agua.

Uso de la tierra

El Cuadro 7 muestra los resultados obtenidos de uso de la tierra en ambos años.

Cuadro 7. Uso de la tierra para 1992 y 2005 en 65 522 ha en el Área de Conservación Osa.

Cobertura	Área (ha)		Porcentaje	
	1992	2005	1992	2005
Bosque Natural	28 605,9	31 246,8	43,7	47,7
Potreros	14 931,7	6 644,9	22,8	10,1
Humedal	14 253,9	13 747,9	21,8	21,0
Cultivos Agrícolas	3 664,8	3 991,5	5,6	6,1
Otros	3 257,8	8 516,2	5,0	13,0
Agua	808,0	1 374,6	1,2	2,1
TOTAL	65 522,0	65 522,0	100	100

La categoría Bosque Natural registró un incremento en el período estudiado, pasando de un 43,7% del área total en 1992 a un 47,7% en el 2005. Esta misma situación se presentó para las categorías Cultivos Agrícolas, Otros y Agua, registrando incrementos promedios de 0,5%, 8% y 0,9% respectivamente (Cuadro 8).

Las categorías que registraron una pérdida de su cobertura fueron Potreros (-8 286,8 ha) y Humedal (-506,0 ha). La primera de estas clases de uso fue la que

presentó una mayor pérdida de cobertura en el período de 13 años estudiado, la cual rodea el 13% de su área en 1992 (Anexo 1 y 2).

Cuadro 8. Cambios registrados de uso de la tierra en 13 años para 65 522 ha en el Área de Conservación Osa.

Cobertura	Cambio	
	Área (ha)	Porcentaje
Bosque Natural	+2 640,9	+4,0
Potreros	-8 286,8	-12,7
Humedal	-506,0	-0,8
Cultivos Agrícolas	+326,7	+0,5
Otros	+5 258,4	+8,0
Agua	+566,6	+0,9

La categoría Bosque Natural fue la que presentó un mayor incremento (4%), ya que la categoría Otros, incluye usos de la tierra que individualmente no superaron el crecimiento en cobertura de esta clase. La categoría Bosque Natural reportó un incremento de 2 640 ha en los 13 años evaluados, lo cual representa una ganancia significativa en comparación con estudios anteriores a la implementación del PSA, donde se reporta, en el período 1986-1991, una pérdida de 225 000 ha en gran parte todo Costa Rica (Sánchez *et al*, 2001).

Tasas de cambio

Se estimó, que el total de área que cambió a otros usos de la tierra fue de 25 379 ha, representando un 38,7% del área total estudiada, mientras que el 61,3% restante (40 143 ha), permaneció con el mismo uso de la tierra en el período de 13 años (Anexo 3).

La tasa de cambio registrada de la categoría Bosque Natural fue de 0,68% (Figura 6), lo cual significa una ganancia en la cobertura de bosque de 203 ha/año.

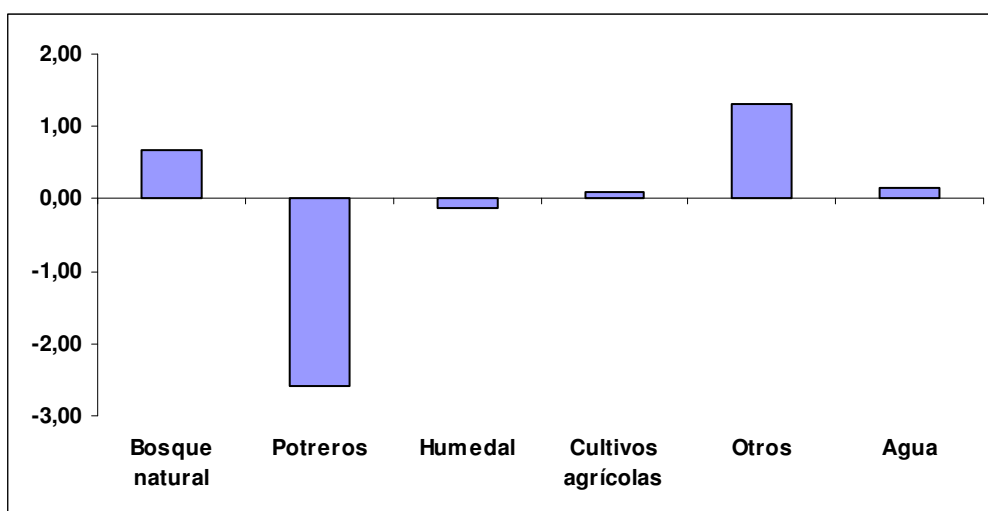


Figura 6. Tasa de cambio anual neta de seis categorías de uso de la tierra en 13 años para 65 522 ha en el Área de Conservación Osa.

El incremento de la categoría Bosque Natural es producto de que las categorías analizadas que cambiaron de diferentes usos de la tierra a la categoría Bosque Natural, sumaron 9 844 ha, mientras que el área de la categoría Bosque Natural que cambió a otros usos fue de 7 204 ha. Además, si se analizan los resultados del 2005, la suma de área de la categoría Nubes, Sombras y Falta Cobertura, es de 6 524 ha, lo cual podría representar un aumento de la categoría Bosque Natural, que a su vez represente un valor mayor en la tasa de cambio neta.

Según Tapia (2007), en un estudio realizado en las Áreas de Conservación Huetar Norte, Atlántica y Central, para el período 1992-2005, se registran tasas de deforestación anual menores al 1%, donde se percibe un aparente proceso de recuperación del área de bosque respecto a otros años.

Acevedo (2006) (citado por Obando *et al*, 2006) asegura que el cambio en la cobertura boscosa sufrido en 1992-2005 a nivel nacional fue leve. El Proyecto Ecomapas, publicado en el 2005, con un 60% de la cobertura del país analizado, muestra que los cambios de uso presentaron un leve balance negativo del área de bosque respecto a 1992, sin embargo, esta categoría sigue siendo la matriz predominante en el país, es decir, es el tipo de cobertura de la tierra más extenso del país lo cual representa una gran oportunidad y una

ventaja competitiva para fortalecer los esfuerzos de conservación y uso sostenible.

Los resultados obtenidos indican que el aumento en la cobertura de bosque, revirtió un proceso que se venía dando antes de la implementación de los PSA, donde los finqueros eliminaban el bosque, para dedicar los terrenos a la ganadería o cultivos agrícolas (Anexo 4).

La creciente cobertura forestal, está relacionada a su vez, con la ejecución de los PSA, ya que en años anteriores a su realización, se reportaron pérdidas de cobertura de bosques de hasta un 16%, en el período de 1980 a 1995, con tasas de deforestación a nivel nacional cercanas al 4%, influenciadas por factores como el crecimiento demográfico de la región, la presión que sufren los bosques como productores de bienes y servicios, y las políticas implementadas que afectan la permanencia del ecosistema (Rosero-Bixby *et al*, 2002; Sánchez *et al*, 2001).

En el aumento del área de bosque, han influido diferentes políticas históricas que ha sufrido el Área de Conservación Osa. En 1975 se establece el Parque Nacional Corcovado, en 1978 la reserva forestal Golfo Dulce y en 1981 la reserva Indígena Guaymí, las cuales poseen hoy en día 133 357,9 ha (31,3% del área de la región) (Atlas, 2004), que a su vez ha significado un importante papel en la conectividad de los parches fragmentados, y la característica de área pionera en la preservación de ecosistemas forestales que posee la región.

Otra razón del crecimiento de área ocupada por los bosques, es la conciencia ambiental que las personas han adquirido en los últimos años. Un estudio realizado por Ortiz *et al* (2003) indica que el 67% de las personas evaluadas, dueñas de terrenos con bosques y beneficiarios del programa PSA, estarían dispuestos a dedicar su finca a la conservación del bosque, aunque dejara de existir el PSA.

Sin embargo, según el último estudio realizado por el Instituto Tecnológico de Costa Rica (ITCR) y la Universidad de Alberta, en Canadá y divulgado en el último informe de Estado de la Nación, los especialistas califican como muy vulnerable esta recuperación, pues el 57% de los bosques del país (1,4 millones de hectáreas) están fuera de sistemas de protección ambiental.

Se observó que a pesar del incremento en la cobertura del Bosque Natural, existe una tendencia a seguir deforestando áreas para dedicarlas a ganadería u otros usos.

El Cuadro 9 indica que en el análisis de resultados del cambio de uso del Bosque Natural, la mayoría de la deforestación se debió a cambios hacia la categoría Potreros, que representaron una pérdida de área de 1 616 ha en 13 años (Anexo 5).

En esta comparación no se toma en cuenta la categoría Otros, ya que de igual forma que en el cambio de uso neto, las clases aquí agrupadas no representan cambios significativos en el área de Bosque Natural (Anexo 6 y 7).

Cuadro 9. Matriz de transición entre categorías de uso de la tierra en 13 años para 65 522 ha en el Área de Conservación Osa.

Categorías de uso para 1992	Categorías de uso para 2005						Total 1992
	Bosque Natural	Humedal	Potreros	Cultivos Agrícolas	Agua	Otros	
Bosque Natural	21402,3	407,0	1616,0	218,1	16,7	4945,8	28605,9
Humedal	1402,1	10847,2	432,2	435,2	236,3	900,9	14253,9
Potreros	6516,5	1600,8	4190,4	571,5	69,1	1983,4	14931,7
Cultivos Agrícolas	450,4	130,1	82,7	2735,4	5,7	260,5	3664,8
Agua	41,0	167,2	7,2	9,0	562,8	20,7	808,0
Otros	1434,53	595,60	316,31	22,30	484,02	405,0	3257,8
Total 2005	31246,8	13747,9	6644,9	3991,5	1374,6	8516,2	65522,0

Ante este panorama, Sanchez-Azofeifa y Quesada-Mateo (1995) han sugerido que los siguientes factores, pueden mitigar los índices de deforestación en Costa Rica:

- Incrementar la eficiencia en los procesos de extracción, que reducirían los desperdicios y la degradación del paisaje

- Incrementar la eficiencia a nivel industrial, que incluya mejoras en los sistemas de corta con diferentes tipos de sierras
- Un mayor deseo de proteger los bosques por medio de organizaciones rurales organizadas
- Un incremento en el área de reservas privadas, principalmente para la explotación del ecoturismo
- Iniciativas por parte del gobierno para el financiamiento de la conservación de los bosques
- El inicio de proyectos de implementación de secuestro de carbono como sugerencia de la Convención para el Cambio Climático y el Protocolo de Kyoto

El informe indica que en el período 2000-2005, el promedio de hectáreas deforestadas aumentó de 3 000 a 5 700 hectáreas por año.

Estos índices se basan en el criterio de que la construcción de urbanizaciones y los enormes sembradíos de monocultivos de exportación ponen en riesgo la recuperación de los bosques en Costa Rica. Además, está la presión sobre los bosques costeros, que están cediendo ante la construcción de urbanizaciones. Se indica que, en algunos cantones del norte y el sur del país, las áreas cubiertas de árboles se están convirtiendo en enormes fincas de piña y yuca para exportar.

Sus datos revelan que en el 2000 había 12 500 hectáreas de piña, que aumentaron a 27 000 hectáreas en el 2005. En ese mismo período, las plantaciones de yuca pasaron de 5 800 hectáreas a 15 700 hectáreas, un crecimiento del 270%.

En el Valle de Coto Brus (límite con el Área de Conservación Osa), el cultivo de frijol tapado (cubierto con maleza) promueve la tala de bosques, y los productores tienen que deforestar con frecuencia porque el frijol agota los nutrientes del suelo con rapidez.

Los investigadores estiman que a futuro el gobierno debe fortalecer la legislación forestal para preservar lo que se tiene en la actualidad, y se sostiene que la solución no está en crear más parques o áreas protegidas, ya que el estado no tiene los recursos ni la capacidad para administrar lo que ya existe.

La tasa de cambio analizada para la categoría Potreros, fue la que sufrió una mayor pérdida respecto a las otras categorías. En total, se registra un -2,60% de cambio (Figura 6).

En una entrevista realizada por Loaiza (2007), se indica en la década de los 90 (donde se implementó el PSA), hubo una caída en el precio de carne de res que obligó a muchos ganaderos a abandonar sus fincas, las cuales en una década pasaron de ser charrales a bosque secundarios, muchos de ellos ahora sometidos a protección.

Este cambio se manifiesta en que la categoría Potreros, registró una pérdida de área de 6 516,5 ha, que se convirtió en bosques secundarios, pertenecientes a la categoría Bosque Natural (Cuadro 9).

La categoría Humedal, registró un cambio negativo (-0,14%), principalmente determinado por 1 400 ha aproximadamente, que cambiaron de esta categoría a Bosque Natural (Cuadro 9).

Los Humedales permiten una serie de funciones como el control de inundaciones, además de generar productos como los recursos forestales. A la vez, estos ecosistemas proveen de atributos como el patrimonio cultural, que tienen valor por sí mismos o bien, porque brinda la oportunidad de utilizarlos con diversos fines (Dugan, 1992).

Estos ecosistemas, generalmente representan áreas de conservación, incluidas en los Programas de Servicios Ambientales, que por sus características biofísicas, son poco perturbados en el tiempo que se encuentren dentro del contrato. Según Rodríguez (2004), si bien no existen datos confiables sobre la

extensión protegida de ecosistemas marinos, se estima que se ha mejorado la protección de los humedales.

En la identificación de estos ecosistemas por medio de las fotografías aéreas, se deben tomar en cuenta las variaciones con que se pudieron incurrir al comparar fotografías blanco y negro (1992) con fotografías a color (2005), ya que para la primera opción no se puede contar con la ayuda visual, que brindan las características espectrales como el color y la nitidez, por lo que el único atributo cualitativo que diferenció esta categoría muchas veces, fue su ubicación, generalmente cercanas a un cuerpo grande de agua.

Las categorías Cultivos Agrícolas y Agua presentaron tasas de cambio anual positivas (0,09% y 0,15% respectivamente), sin embargo representan cambios de área relativamente pequeños. Se debe tomar en cuenta que estas categorías, en general, representan áreas pequeñas en las fotografías aéreas utilizadas, por lo que se necesitarían estudios con información fotográfica más precisa para evaluar cambios a una escala menor.

La categoría Otros, como se mencionó anteriormente, presentó un aumento en el área significativo, que constituye una tasa de cambio de 1,31%. Sin embargo esta categoría, no debe tomarse en cuenta como la que más se benefició, ya que exceptuando las clases Reforestación y Zonas Urbanas, constituyen usos de la tierra que varían exclusivamente por condiciones climáticas que imperen a la hora de que el sensor remoto capte la imagen, o por el área que esta cubra. En la península de Osa específicamente, gran parte del área está cubierta por nubes, lo cual dificulta la clasificación de la tierra utilizando sensores ópticos (Sánchez *et al*, 2001).

Diferencias en la matriz de transición

Las clasificaciones de uso de la tierra por medio de sensores remotos, conllevan ciertas inconsistencias que en algunos casos podrían representar datos incorrectos en la determinación de los cambios de uso. En la

determinación de estos resultados, para el período evaluado, se identificaron ciertas diferencias. A continuación se mencionan algunos de los cambios de uso verificados:

- Bosque – Otros = casi el 90% de esta área en 1992 se logró determinar que era Bosque Natural, mientras que en el 2005 no se pudo determinar qué era, ya que faltó la cobertura para esa área o porque habían nubes y sombras. Un 10% aproximadamente cambió de Bosque Natural a Reforestación, ya que verificando la información de 1992 es muy difícil determinar diferencias entre estas dos clases para esos polígonos. El promedio de área de estos polígonos es de 17,5 ha y en total suman 4945,7 ha (7,5%).
- Bosque – Agua = ambos años se comprobaron estar clasificados correctamente. En el año 2005 salen como Ríos porque las orillas de arena y piedra, que son zonas inundables, crecieron y se contabilizaron como Ríos. El promedio de área de estos polígonos es de 0,6 ha y en total suman 4,7 ha (0,007%).
- Bosque – Humedales = ambos años se comprobaron estar clasificados correctamente. Las diferencias son por pequeños desplazamientos en las fotos de cada año y por la dificultad de saber qué es Humedal en 1992 (ver pag. 46). El promedio de área de estos polígonos es de 2,9 ha y en total suman 407,0 ha (0,6%).
- Agua – Otros usos = son polígonos ubicados en los extremos de los ríos, por lo tanto por mínimo que sea el desplazamiento de las fotos entre ambos años, se clasifican diferente. Casi el 70% son polígonos que pasaron de Agua a Humedales, ya que por ejemplo en los canales de Sierpre, los ríos tenían bancos de arena al parecer más anchos en 1992 que en el 2005, por lo tanto se contabilizaron como cambio de Agua a Humedales, que era el ecosistema más cercano a estos bancos. El promedio de área de estos polígonos es de 1,4 ha y en total suman 245,5 ha (0,4%).

- Cultivos – Humedales = representan áreas que en 1992 al parecer consistían en suelo desnudo preparado para cultivos, y en el 2005 presentan valores espectrales similares a los de los bosques, que por estar cercanos a una fuente de agua, se les consideró como humedales. El promedio de área de estos polígonos es de 4,5 ha y en total suman 130,1 ha (0,2%).

Los resultados obtenidos de la categoría Otros, indican la posibilidad de obtener una variación real en los porcentajes de área de las diferentes categorías.

Se observó que la clase Otros incluyó un gran porcentaje de su área como Sombras, Nubes y Falta de Cobertura, en los dos años de estudio (Cuadro 9). Si esta área se tomará hipotéticamente como parte de la clase Bosque Natural, se observa un cambio significativo en el área cubierta por esta clase de uso, lo cual se indica en la siguiente matriz de transición (Cuadro 10):

Cuadro 10. Matriz de transición con el cambio de la categoría Otros para 65 522 ha en el Área de Conservación Osa.

Categorías de uso para 1992	Categorías de uso para 2005						Total 1992
	Bosque Natural	Humedal	Potreros	Cultivos Agrícolas	Agua	Otros	
Bosque Natural	27381,2	894,9	1923,0	235,4	360,7	712,3	31507,5
Humedal	2262,1	10847,2	432,2	435,2	236,3	40,9	14253,9
Potreros	7674,6	1600,8	4190,4	571,5	69,1	825,3	14931,7
Cultivos Agrícolas	480,6	130,1	82,7	2735,4	5,7	230,3	3664,8
Agua	47,0	167,2	7,2	9,0	562,8	14,6	808,0
Otros	61,5	107,7	9,4	5,0	140,0	32,7	356,2
Total 2005	37906,9	13747,9	6644,9	3991,5	1374,6	1856,1	65522,0

La adición de la cobertura de Sombras, Nubes y Falta de Cobertura a la categoría Bosque Natural, indica un incremento de 6 399,4 ha de bosque entre los dos años, lo cual significa el doble de crecimiento, a lo reportado inicialmente sin realizar el supuesto. Este incremento representa que la categoría Bosque Natural creció un 9,8% en el período evaluado.

La transición entre categorías de uso indica que el área de la clase Bosque Natural, que se mantuvo bajo el mismo uso, representa un 87% de su área en 1992, lo cual en términos de conservación, es significativamente diferente al análisis descrito anteriormente, donde este porcentaje representa un 75%.

El área de la clase Bosque Natural que cambió a otros tipos de uso, fue de 4 126,3 ha. El área que cambió a Cultivos Agrícolas fue de 236 ha aproximadamente, lo cual no representa una diferencia significativa respecto a los resultados anteriores.

El cambio hacia la categoría Potreros constituye aproximadamente el 50% de la totalidad de transición de la clase Bosque Natural, y en vista de que en el análisis anterior este cambio fue de un 22%, sí constituye un valor a tomar en cuenta para el análisis. Esto a su vez indica, tentativamente, que los cambios sufridos, fueron en su mayoría debidos a deforestar tierras para dedicarlas a ganadería o dejarlas simplemente en abandono.

El cambio de Potreros a Bosque Natural, significó un incremento mayor respecto a los resultados anteriores. En este caso, 1 158 ha más, pasaron entre una y otra clase de uso, obteniendo un valor total en el 2005 de 7 674,5 ha. Este mismo escenario lo presentaron las categorías Humedal y Cultivos Agrícolas, las cuales aumentaron el área que cambió a Bosque Natural en 860 ha y 30 ha respectivamente, en contraste a los cambios reportados en la matriz anterior.

Este supuesto evidencia, de forma más clara, que gran parte del área antes clasificada como Sombras, Nubes y Falta de Cobertura, significa una mayor ganancia de cobertura para la clase Bosque Natural, tanto para el área que permaneció bajo este uso como el área que cambió hacia él.

Relación capacidad de uso – uso de la tierra

En términos generales, se puede mencionar que los dueños de terrenos, que dependen de ellos, son más propensos a realizar cambios de uso de la tierra para buscar una mayor rentabilidad en otras actividades productivas diferentes al bosque (Obando *et al*, 2006; Sánchez *et al*, 2001). Un ejemplo claro en Costa Rica, lo representan los cultivos agrícolas, donde la piña es un claro ejemplo de un cultivo que puede significar una rentabilidad siete veces mayor por hectárea por año que si el terreno se dedicara a la protección del bosque natural (Obando *et al*, 2006).

Según la metodología oficial para determinar la capacidad de uso de la tierra en Costa Rica, las categorías de capacidad de uso I, II, III y IV se consideran aptas para uso agropecuario, la categoría de capacidad de uso V es apta para el establecimiento de potreros (también para bosque natural) y las categorías VI, VII, VIII y A.P. (Áreas Protegidas) se consideran aptas solamente para bosque natural.

Se encontró que un 62,6% del área evaluada tiene capacidad de uso para Bosque Natural. La capacidad de uso Agropecuario significó un 23,0% y los Potreros un 14,3% (Cuadro 11).

Cuadro 11. Capacidad de uso de la tierra para 64 363,3 ha en el Área de Conservación Osa.

Capacidad de Uso	Área (ha)	Porcentaje
Agropecuario	14 832,4	23,0
Potreros	9 219,6	14,3
Bosque Natural	40 311,3	62,6
TOTAL	64 363,3²	100,0

El análisis de la capacidad de uso para las tierras que cambiaron de Bosque Natural a Potreros, indica que en su mayoría son tierras que presentaron una capacidad de uso de Bosque Natural (63,5%). El restante porcentaje de área lo

² El área obtenida es menor al área total evaluada por el desplazamiento entre la capa de Capacidad de Uso del Atlas 2004 y los segmentos censales utilizados.

ocupo la categoría Agropecuario con un 36,4% y Potreros con un 0,1% (Cuadro12).

Cuadro 12. Capacidad de uso para cambios entre las categorías Bosque Natural a Potreros para 65 522 ha en el Área de Conservación Osa.

Capacidad de uso	Área (ha)	Porcentaje
Agropecuario	580,9	36,4
Potreros	1,3	0,1
Bosque Natural	1012,7	63,5
TOTAL	1594,9	100,0

En este caso la situación puede ser relejo de las tasas de deforestación antes analizadas, ya que se indica que eran tierras propiamente para conservación, las cuales se podría inferir se deforestaron para dedicarlas a la ganadería o simplemente al abandono, después de obtener ganancias por la venta de la madera.

Las tierras que cambiaron de Bosque Natural a Cultivos Agrícolas presentaron una tendencia diferente. En este caso el 69,5% del área sí tiene capacidad de uso Agropecuario, mientras que el 25,9% para Bosque Natural y 4,5% para Potreros (Cuadro 13).

Cuadro 13. Capacidad de uso para cambios entre las categorías Bosque Natural a Cultivos Agrícolas para 65 522 ha en el Área de Conservación Osa.

Capacidad de uso	Área (ha)	Porcentaje
Agropecuario	150,6	69,5
Potreros	9,9	4,6
Bosque Natural	56,1	25,9
TOTAL	216,5	100,0

Los resultados indican que al parecer en la categoría Cultivos Agrícolas, la capacidad de uso es un factor determinante en el cambio hacia esta clase, ya que gran parte de su área que cambió se debió principalmente a la rentabilidad que con el cambio los dueños de tierras podrían tener.

Los cambios registrados entre las categorías Poteros a Bosque Natural, muestran que el 70% de las tierras evaluadas tienen capacidad para Bosque

Natural, mientras que el 29,7% para capacidad Agropecuario, y tan solo un 0,3% para Potreros (Cuadro 14).

Cuadro 14. Capacidad de uso para cambios entre las categorías Potreros a Bosque Natural para 65 522 ha en el Área de Conservación Osa.

Capacidad de uso	Área (ha)	Porcentaje
Agropecuario	1918,6	29,7
Potreros	19,8	0,3
Bosque Natural	4519,1	70,0
TOTAL	6457,5	100,0

Estos resultados indican que la clase Bosque Natural, aparte de presentar ganancias de cobertura a través del tiempo, presentó cambios favorables producto de la capacidad de uso que presentan.

Es de suponer que los propietarios de tierras con bosque, vieron en el recurso una fuente de ingresos que les permitiera generar mejores ganancias a largo plazo, ya que el uso de sus potreros para ganadería principalmente, no les era rentable, dejando así crecer la regeneración natural en sus terrenos.

Así mismo, pudieron constituir tierras que por sus condiciones topográficas, incorporarlas a otro tipo de uso generaría más pérdidas económicas que las mismas ganancias.

Los resultados de los cambios de uso de Cultivos Agrícolas a Bosque Natural, muestran que el 92,7% del área tiene capacidad Agropecuario, mientras que tan solo un 4,5% y un 2,8% para Potreros y Bosque Natural respectivamente.

Cuadro 15. Capacidad de uso para cambios entre las categorías Cultivos Agrícolas a Bosque Natural para 65 522 ha en el Área de Conservación Osa.

Capacidad de uso	Área (ha)	Porcentaje
Agropecuario	416,7	92,7
Potreros	20,3	4,5
Bosque Natural	12,6	2,8
TOTAL	449,6	100,0

Esta situación puede ser un indicador de que las tierras que se dedicaron a cultivos agrícolas no poseían un gran valor agregado, ya que aunque tenían las

condiciones de uso para hacerlo, no se aprovecharon para estos fines. Otra posible razón son los precios de los cultivos en el mercado, y los costos que los dueños tenían que realizar para colocarlos a la venta, lo cual pudiera ser una situación desventajosa, ante lo cual buscaran otros horizontes para sus tierras.

CONCLUSIONES

El Área de Conservación Tempisque indica que para 1992, aproximadamente el 65% del área evaluada estaba cubierta por bosques. Diferentes estudios donde se mencionan valores similares en años recientes, dan pie a una poseer una tendencia similar al del Área de Conservación Osa, donde el bosque ha permanecido poco alterado en el tiempo.

Los resultados obtenidos de la clasificación del Área de Conservación Tempisque, indican que la exactitud obtenida resalta en gran medida la realidad de los tipos de uso encontrados.

El uso de software avanzados que logren resultados precisos entre una clasificación supervisada y lo que se encuentra en la realidad, asegura un ahorro de tiempo y recursos económicos con resultados confiables.

Las tasas de cambio anual obtenidas en el Área de Conservación Osa, indican que la categoría Bosque Natural fue la que más creció (0,68%), en comparación con otras clases de uso, mientras que la categoría Potreros sufrió la tasa más baja (-2,60%).

La mayor parte del área evaluada en el Área de Conservación Osa no sufrió cambios de uso en el período estudiado (61,3%).

El área de Bosque Natural que permaneció sin cambios en el período estudiado, fue aproximadamente de 21 500 ha, representando un 33% del total de su área.

La creación de áreas protegidas en el Área de Conservación Osa, en conjunto con políticas empleadas desde la década de los 80, significó un primer avance en el modelo conservacionista de la región, reflejado en sus bajos índices de deforestación.

La irregularidad de la topografía de los bosques en el Área de Conservación Osa, impide que se le puedan dar otros usos a estos ecosistemas, haciendo posible que personas que no dependan de su explotación, puedan inscribirlos a los PSA.

La categoría Bosque Natural presentó gran parte de su ganancia en cobertura debido a la capacidad de uso para protección de estas tierras, principalmente de la clase Potreros.

La deforestación registrada se debe en gran parte a la capacidad de uso de potreros que presentaban los terrenos con cobertura boscosa.

RECOMENDACIONES

En el trabajo de fotointerpretación de imágenes satelitales y fotografías aéreas, es necesario poseer una abundante información de campo, que brinde una base real de lo que se podría encontrar en la clasificación.

Las generalidades en la agrupación de la categoría Bosque Natural presenta una limitante al no discernir entre los diferentes tipos de bosque existentes en el área evaluada, lo cual podría corregirse con visitas de campo a los sitios estudiados.

Debido a la variación espectral de los bosques tropicales en imágenes satelitales y fotografías aéreas, es necesario tener información detallada de campo y datos auxiliares que permitan diferenciar estos tipos de ecosistemas en sensores remotos, para obtener resultados más confiables.

A escala regional, aunque los datos de sensores remotos no puedan reemplazar la información de campo, estos en conjunto con programas de software avanzado en clasificaciones supervisadas, pueden dar pie a una idea real sobre los usos de la tierra.

En la comparación y validación de resultados de uso de la tierra y la influencia de los PSA, se recomienda complementar con estudios sobre índices socioeconómicos que ayuden en la determinación de los cambios obtenidos.

Los PSA deben girar hacia un entorno donde los pobladores de zonas con contratos de protección, sean partícipes de un enfoque práctico más integrado entre conservación y desarrollo social.

BIBLIOGRAFÍA

Arriagada, R. s.f. Econometric Evaluation of Costa Rica's Payments for Environmental Services: Scaling up analysis to a national level and learning from policy implementation. Universidad Estatal de Carolina del Norte. Raleigh, Estados Unidos. En prensa.

Barton, D.N; Faith, D; Rusch, G; Gjershaug, J.O; Castro, M; Vega, M; Vega, E. 2003. Spatial prioritisation of environmental service payments for biodiversity protection. NIVA Report SNR 4746/2003.

Brondizio, E; Morán, E; Mausel, P; Wu, Y. 1996. Land cover in the Amazon estuary: linking of the thematic mapper with botanical and historical data. Photogrammetric Engineering & Remote Sensing 62 (8): 921-929.

Camacho Soto, M.A.; Reyes Catjens, V.; Miranda Quirós, M.; Segura Bonilla, O. 2003. Gestión local y participación en torno al pago por servicios ambientales: Estudios de caso en Costa Rica. (en línea). Programa Cambio Social, Biodiversidad y Sostenibilidad y CINPE (Centro Internacional de Política Económica para el Desarrollo Sostenible). UNA (Universidad Nacional). Costa Rica. Elaborada para PRISMA (Programa Salvadoreño de Investigación Sobre Desarrollo y Medio Ambiente). Consultado el 04/02/08. Disponible en: <http://www.rlc.fao.org/foro/psa/pdf/infofinpsa.pdf>

Céspedes Agüero, 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. (en línea). Tesis Mag Sc. Turrialba, CR. CATIE (Centro Agronómico Tropical de Investigación y Enseñanza). 164 p.

Chaves, E.; Rosero-Bixby, L. 2001. Valoración del riesgo de deforestación futura en Costa Rica. Heredia, C.R, Rev. Uniciencia: Vol. 18. Fac. de Ciencias Exactas y Naturales, Universidad Nacional.

Clark, D. 1998. Deciphering landscape mosaics of neotropical tree: GIS and systematic sampling provide new views of tropical rainforest diversity. *Annals of the Missouri Botanical Garden* 85: 18-33

Clark, D.A.; Clark, D.B.; Sandoval, R.M.; Castro, M.V. 1995. Edaphic and human effects on landscape-scale distributions of tropical rainforest palms. *Ecology* 76(8): 2581-2594.

De Camino, R., O. Segura, L. Arias, I. Pérez. 1999. Forest Policy and the Evolution of Land Use: An Evaluation of Costa Rica's Forest Development and World Bank Assistance. Operations Evaluation Department. Document of the World Bank

Dupuy Rada; JM; Gonzáles Iturbe, JA; Iriarte Vivar, S; Espadas Manrique, C; Tun Azul, F; Dorantes Euán, A. 2007. Cambios de cobertura y uso del suelo (1979- 2000) en dos comunidades rurales en el noroeste de Quintana Roo. (en línea). *Investigaciones Geográficas*. Universidad Nacional de Autónoma de México. Distrito Federal, México. (62):104-124. Consultado el 04/02/08. Disponible en: <http://www.igeograf.unam.mx/instituto/publicaciones/boletin/bol62/b62Art06.pdf>

Kahn, F; Mejía, K. 1991. The palm communities of two "Tierra Firme" forests in Peruvian amazonia. *Principles* 35 (1): 22-26.

Laboratorio de Sistemas de Información Geográfica, Escuela de Ingeniería Forestal, Escuela de Ingeniería Forestal, ITCR. 2005. Atlas Costa Rica 2004. Un disco compacto.

Leclerc, G. 1996. Tropical forest assessment in Central Costa Rica using Landsat Thematic Mapper imagery Tropical Ecosystem Environment Observations by Satellites Contract N° EN9406951V.

Lieberman, D; Lieberman, M; Peralta, R; Hartshorn, G.S. 1996. Tropical forest structure and composition on a large scale altitudinal gradient in Costa Rica. *Journal of Ecology* 84: 137-152

FONAFIFO. 1998. El desarrollo del sistema de Pago de Servicios Ambientales en Costa Rica. San Jose, Costa Rica.

FONAFIFO, 2006. Distribución de las hectáreas y árboles contratadas en Pago de Servicios Ambientales, por año y por modalidad, en el periodo 1997-2006. (en línea). Consultado el 05/02/08. Disponible en: http://www.fonafifo.com/text_files/servicios_ambientales/distrib_ha_Contratadas.pdf

Gallo, M. 1999. Identificación de tipos de bosques primarios en la Zona Norte de Costa Rica. Tesis Mag. Sc. Turrialba, CR, CATIE. 100 p.

Geist H.; Lambin E. 2002. Proximate causes and underlying driving forces of tropical deforestation. *American Institute of Biological Sciences*. 8p.

Hardner, J., and R., Rice. 2002. "Rethinking Green Consumerism." *Scientific American* May:89-95.

Herrera-MacBryde, O., T. Maldonado, V. Jiménez & K. Thömsen. 1997. Osa Peninsula and Corcovado National Park, Costa Rica. *Central America: CPD site MA 18*, pp. 215-220. In WWW & IUCN (eds.). *Centres of plant diversity. A guide and strategy for their conservation. The Americas*. IUCN, Cambridge, Reino Unido.

James, A., K.J. Gaston, and A. Balmford. 2001. "Can We Afford to Conserve Biodiversity?" *BioScience* 51:43-52.

Jensen, J.R. 1996. *Introductory digital image processing: a remote sensing perspective*. 2nd. Ed., New Jersey, Prentice Hall Series in Geographic Information Science.

Loaiza, V. 2007. Casi la mitad del país está cubierto de árboles: Cultivos y edificaciones ponen en peligro recuperación de bosques. (en línea). La Nación Digital. Consultado el 07/05/08. Disponible en http://www.nacion.com/ln_ee/2007/diciembre/10/pais1344416.html

MAG (Ministerio de Agricultura y Ganadería). 1996. Dirección de Investigaciones Agropecuarias. Departamento de Suelos y Evaluación de Tierras. San José, Costa Rica.

Mansour, J. 1995. Parks in peril source book. The Nature Conservancy: America Verde, Virginia.

Miranda, M. 2002. Efectos sociales indirectos del pago por servicios ambientales en Cordillera Volcánica Central. (en línea). Consultado el 10/01/08. Disponible en: <http://www.una.ac.cr/ambi/Ambien-Tico/108/miranda-108.htm>

Montoya Greenheck, F. 2002. Un recuento necesario: Día Mundial de la Lucha Contra la Desertificación. (en línea). Boletín Girasol. UCR (Universidad de Costa Rica). Consultado el 05/02/08. Disponible en: <http://www.vinv.ucr.ac.cr/girasol/archivo/girasol19/desertificacion.html>

Ortiz, E.; Sage, C.; Borge, C. 2003. Impacto del Programa de Pago de Servicios Ambientales en Costa Rica como medio de reducción de la pobreza en los medios rurales. San José, C. R, Series de Publicaciones RUTA. 62 p.

Peuker A. 1992. Public policies and deforestation: a case study of Costa Rica. World Bank, Latin America and the Caribbean Technical Department. Regional Studies Program, report no. 14.

Puig, C.J. 1996. Identificación de fases de desarrollo de bosques secundarios húmedos tropicales de tierras bajas en Costa Rica, mediante análisis digital de imágenes de sensores remotos. Tesis Mag Sc. Turrialba, Costa Rica, CATIE 49p.

Robalino, J.; Pfaff, A. 2007. Contagious Development: neighbors' interactions in deforestation. The Earth Institute, Columbia University. En prensa.

Rodríguez, J. 2004. Bosque, pago de servicios ambientales e industria forestal. En: Décimo informe sobre el Estado de la Nación en desarrollo humano sostenible. San José, Costa Rica. 26 p. (en línea). Consultado el 05/02/08. Disponible en: http://www.estadonacion.or.cr/Info2004/Ponencias/Armonia/Rodríguez_2004.pdf

Rosero-Bixby, L.; Maldonado, T.; Bonilla, R. 2002. Bosque y Población en la Península de Osa, Costa Rica. Rev. Biol. Trop. 50 (2). San José, Costa Rica. p. 585-598.

Saborío, F. 2003. Evaluación del programa de pago de servicios ambientales: año 2000. Informe final. San José.

Sánchez, G; Harris, R; Skole, D. 2001. Deforestation in Costa Rica: A Quantitative Analysis Using Remote Sensing Imagery. Biotropica 33(3): 378-384.

SINAC (Sistema Nacional de Áreas de Conservación, CR). 2007. GRUAS II: Propuesta de Ordenamiento Territorial para la conservación de la biodiversidad de Costa Rica. San José, C.R. 100 pp.

Skidmore, A.K. 1989. An expert system classifies eucalyptic forest types using thematic mapper data and a digital terrain model. Photogrametric Engineering and Remote Sensing 55 (10):: 1449-1464.

Speranza, F.C.; Zerda, H.R. s.f. Clasificación digital de coberturas vegetales a partir de datos satelitales multiespectrales. (en línea). Consultado el 07/05/08. Disponible en:

http://www.inta.gov.ar/manfredi/info/boletines/areasuelos/cober_veg_satel_multi.pdf

Story, M.; Congalton, R.G. 1986. Accuracy assessment: a users perspective. Photogrammetric Engineering and Remote Sensing. Vol. 52, pp. 397-399.

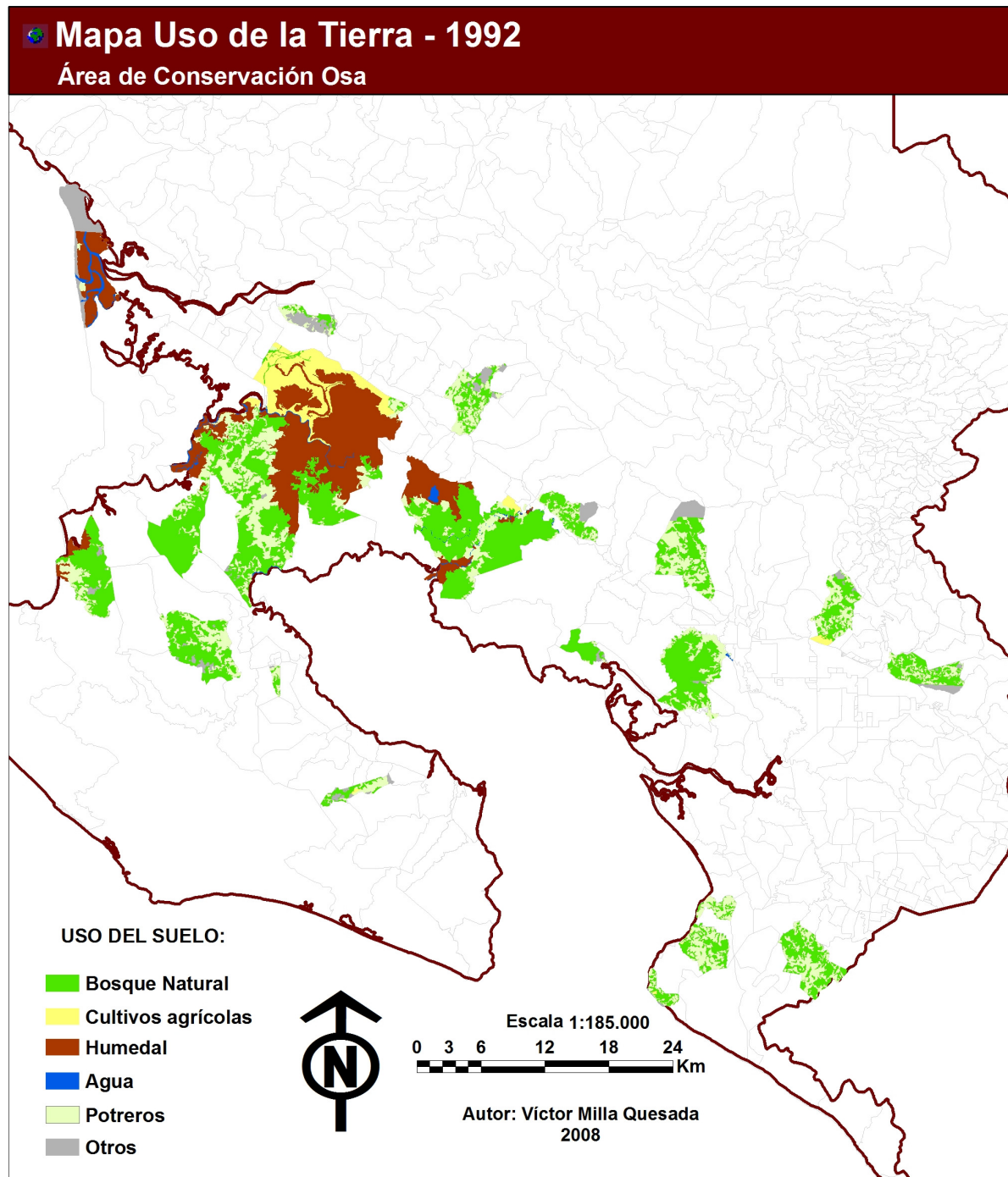
Tapia, A. 2007. Evaluación de los cambios en el uso del suelo en fincas sometidas al Programa de Pago por Servicios Ambientales (PSA) en las regiones Huetar Norte, Huetar Atlántica y Central de Costa Rica. Tesis Bachiller Ingeniería Forestal. Cartago, C.R, Instituto Tecnológico de Costa Rica. 101 p.

Tuomisto, H; Linna, A; Kalliola, R. 1994. Use of digitally processed satellite images in studies of tropical rain forest vegetation. International Journal of Remote Sensing 15 (8): 1595-1610.

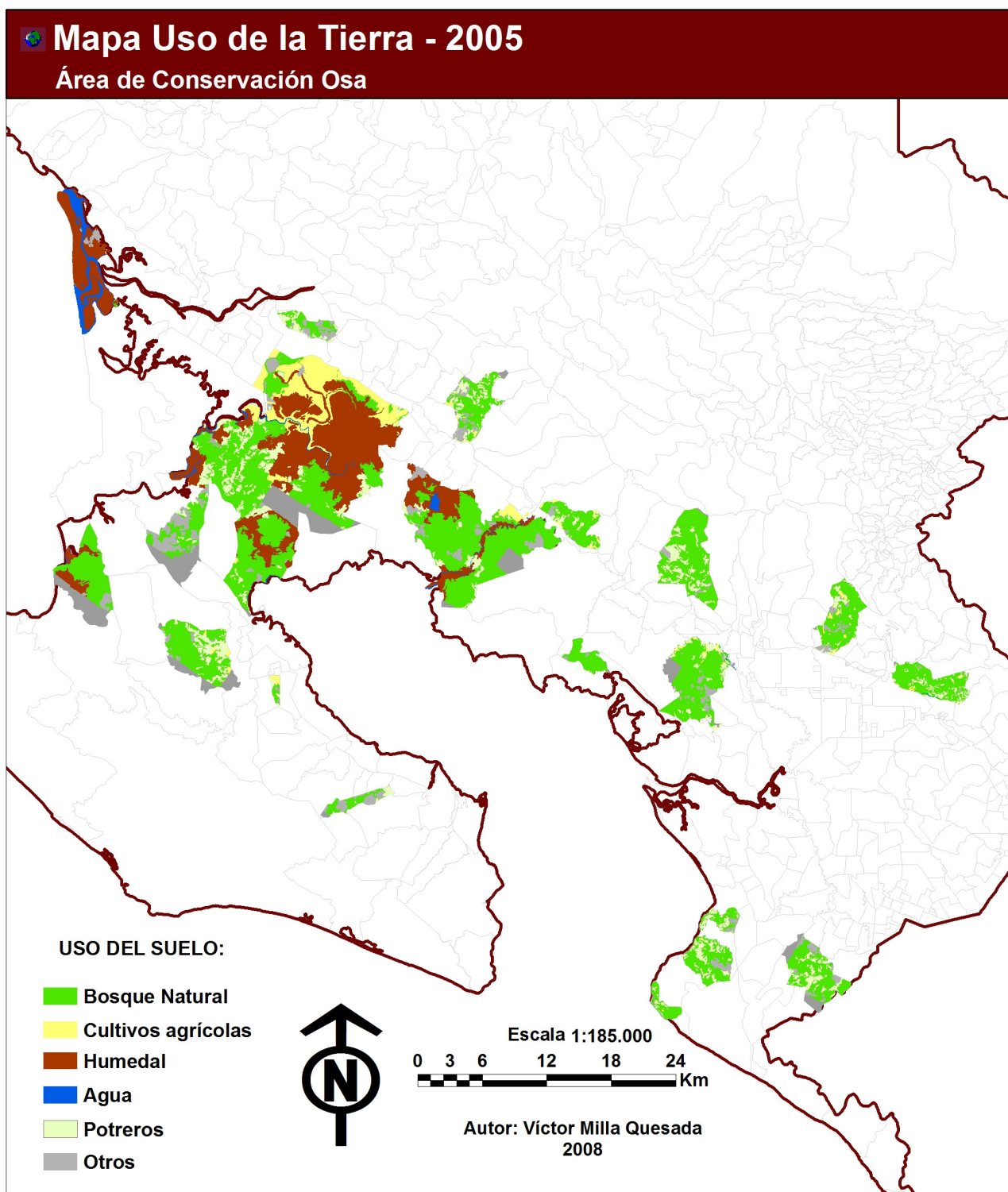
Warner, T.A.; Levandowski, D.W.; Bell, R.; Cetlin; H. 1994. Rule-based geobotanical classification of topographic, aeromagnetic, and remotely sensed vegetation community data. Remote Sensing of Environment 50: 41-55.

ANEXOS

Anexo 1. Mapa uso de la tierra en 1992 para 65 522 ha en el Área de Conservación Osa.



Anexo 2. Mapa uso de la tierra en 2005 para 65 522 ha en el Área de Conservación Osa.



Anexo 3. Matriz de transición (ha) entre categorías de uso de la tierra en 13 años para 65 522 ha en el Área de Conservación Osa.

Cambio de uso	SEGMENTOS CENSALES																														TOTAL						
	60501021	60502030	60503047	60504011	60505012	60506013	60507016	60508022	60509023	60510025	60511028	60512032	60513038	60514042	60515044	60516045	60517043	60518013	60519016	60520026	60521027	60522034	60523028	60524034	60525028	60526023	60527042	60528044	60529028	60530045		60531029	60532010	60533017	60534047		
Agua - Agua	250.3			77.4		55.3																														582.3	
Agua - Bosque natural	0.3			2.4		2.3																														41.0	
Agua - Cultivos agrícolas				6.4		1.5																														9.0	
Agua - Humedal	78.8			8.4		40.1																														187.2	
Agua - Otros	2.5					0.0																														20.7	
Agua - Páramos				0.2		2.7																														7.2	
Bosque natural - Agua																																					18.7
Bosque natural - Bosque natural		125.3	78.8	1148.0	1614.8	438.9	1257.4	818.9	1669.9	285.7	1359.5	283.9	226.2	252.7	308.6	2165.1	310.7	2243.6	506.3	1438.2	209.4	299.9	45.5	148.6	426.4	706.1	107.4	459.4	190.7	718.9	397.8	193.8	167.9	798.1	21402.3		
Bosque natural - Cultivos agrícolas				72.3	3.2	6.2																														218.1	
Bosque natural - Humedal				0.2	18.9	16.1	14.8	88.4	198.7																											407.0	
Bosque natural - Otros		59.8	26.6	471.9	14.1	0.6	495.3	1386.6	48.8	20.9	413.6	45.9	39.0	42.3	7.7	117.5	59.4	565.1	22.1	313.3	85.5	9.0	11.3	113.6	45.5	12.8	24.3	76.4	7.3	71.8	10.2	5.1	322.4	4846.8			
Bosque natural - Páramos		16.6	3.9	32.1	161.5	66.7	37.7	14.3	29.7	179.2	113.9	33.1	35.9	26.8	25.3	4.7	20.9	1.1	43.1	5.7	19.0	16.2	8.2	125.5	92.0	17.6	122.3	27.7	58.6	27.8	42.8	52.4	163.7	1818.0			
Cultivos agrícolas - Agua				5.0		0.6																														6.7	
Cultivos agrícolas - Bosque natural				420.1																																460.4	
Cultivos agrícolas - Cultivos agrícolas				2050.9	466.5	80.3																														2736.4	
Cultivos agrícolas - Humedal				75.0	52.8	1.3																														130.1	
Cultivos agrícolas - Otros				195.6																																	280.5
Cultivos agrícolas - Páramos				27.4	1.8																															32.7	
Humedal - Agua		126.1		23.3		44.0	9.7																													238.3	
Humedal - Bosque natural		9.8		249.2	847.9	25.1	172.8	91.3	10.8	14.5																										1402.1	
Humedal - Cultivos agrícolas				250.1	100.1	77.9	6.0																													436.2	
Humedal - Humedal		1436.2		2967.0	3116.2	852.3	726.2	151.4																												10847.2	
Humedal - Otros		60.8		19.0	38.2	218.2	28.5	70.3	11.8	315.4																										900.9	
Humedal - Páramos				26.9	137.1	137.4	91.6																													432.2	
Otros - Agua		478.9																																			434.0
Otros - Bosque natural			212.3		0.2		60.8			32.9	96.1	139.9	16.5	161.5	29.5																					1434.6	
Otros - Cultivos agrícolas																																					22.3
Otros - Humedal		593.5					2.1																														696.8
Otros - Otros		69.1	129.7		16.7	29.8				29.3	31.9	0.2																									406.0
Otros - Páramos			83.5		0.3					8.4	56.9	4.8	22.9	6.6																						318.3	
Páramos - Agua		27.0				1.6				0.2																										66.1	
Páramos - Bosque natural		0.5	56.9	25.9	79.6	807.4	160.7	86.9	91.1	294.8	67.4	299.7	202.4	187.4	72.2	121.8	139.2	51.6	263.0	21.1	260.2	95.8	103.3	29.6	77.0	421.1	353.7	166.5	482.3	122.1	502.9	158.6	107.2	116.7	459.6	6518.5	
Páramos - Cultivos agrícolas		0.6		116.9		42.8	38.8			5.4	1.4	55.1	20.4	16.3	18.1	26.2		33.1	13.4																	671.6	
Páramos - Humedal		36.0		8.9	57.5	212.2	48.0	209.5																												1800.8	
Páramos - Otros		0.0	49.5		53.8	112.5	16.7	284.2	172.2	31.2	2.7	150.7	33.4	157.4	17.4	9.9	86.4	17.9																		1883.4	
Páramos - Páramos			116.8	31.8	172.5	673.5	322.8			62.0	64.6	59.7	427.8	181.7	58.4	62.8	33.7	155.6	13.4	109.2	4.6	199.5	37.8	14.1	31.1	33.5	323.7	120.1	151.2	231.9	20.2	119.9	39.2	43.3	17.5	256.4	4180.4
TOTAL	3171.2	860.6	8848.7	8818.1	4888.2	2388.7	2837.0	2681.0	3622.3	606.6	3023.8	1180.8	747.6	708.0	539.0	4686.8	787.8	3781.2	807.6	2485.6	483.9	448.0	184.7	857.4	1449.4	1812.2	628.4	1447.6	418.1	1820.6	874.8	482.7	480.8	2258.9	65622.0		

Anexo 4. Recuperación del bosque en el Área de Conservación Osa en un período de 13 años.



Área de bosque en 1992. Foto DMA 1992

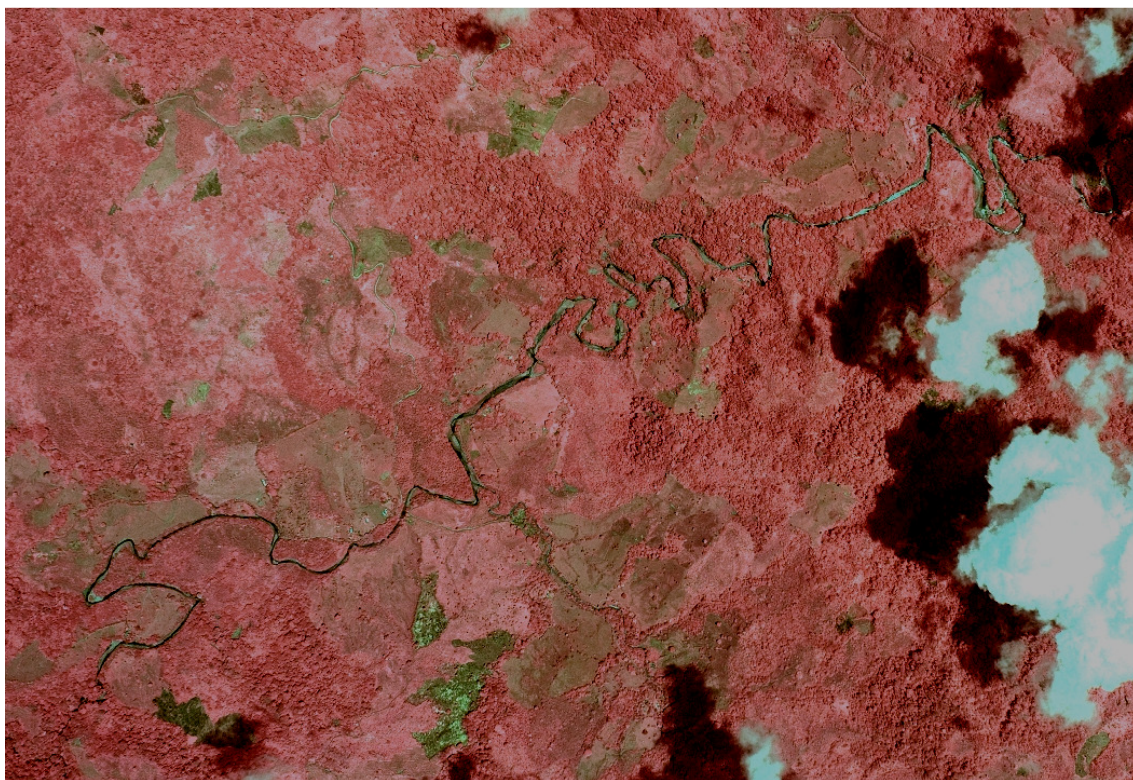


Área de bosque en 2005. Foto Carta 2005

Anexo 5. Pérdida del bosque en el Área de Conservación Osa en un período de 13 años.

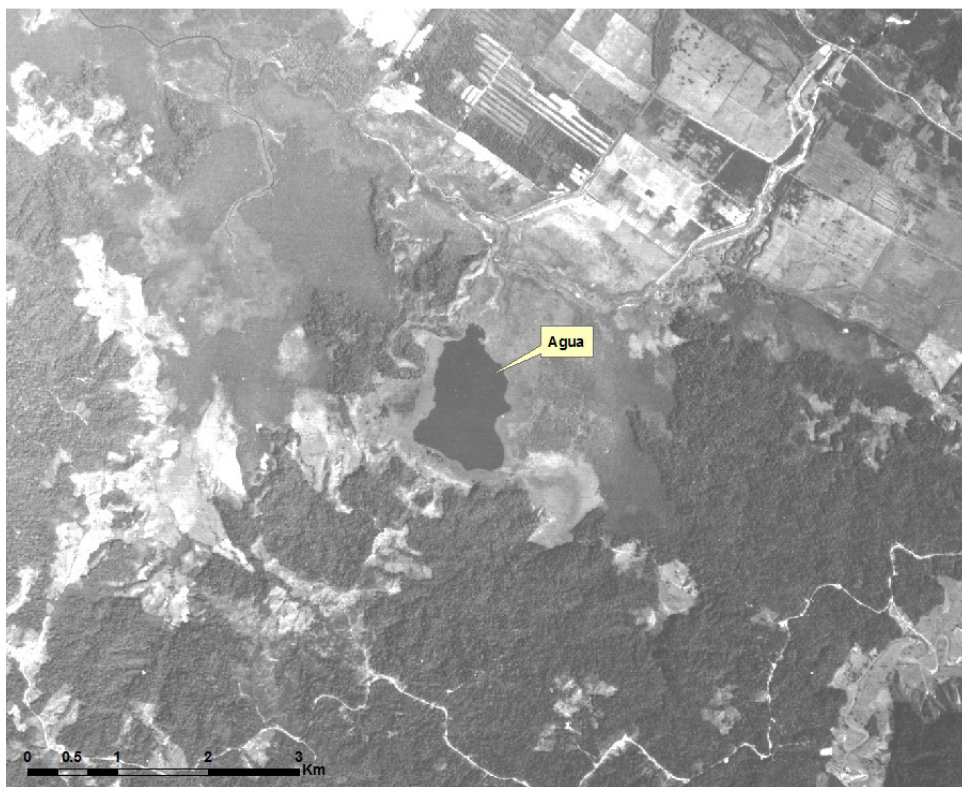


Área de Bosque en 1992. Foto DMA 1992



Área de Bosque en 2005. Foto Carta 2005

Anexo 6. Clase de uso Agua agrupada en la categoría Otros en el Área de Conservación Osa en un período de 13 años.



Área de Agua en 1992. Foto DMA 1992

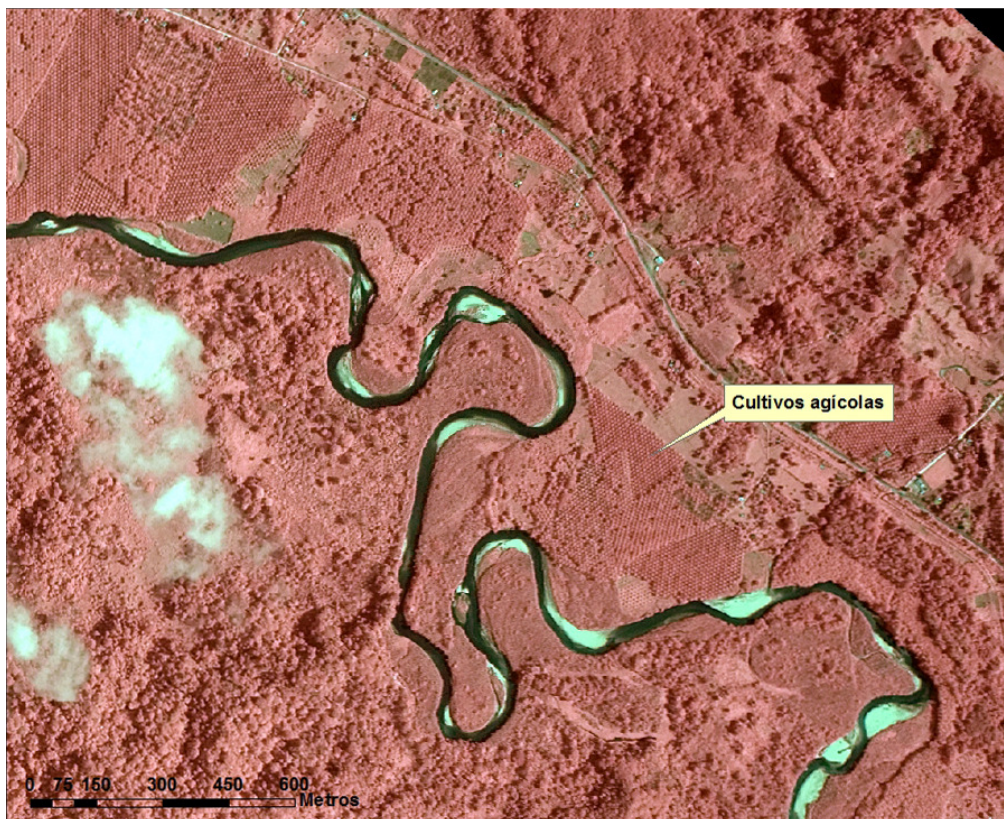


Área de Agua en 2005. Foto Carta 2005

Anexo 7. Clase de uso Cultivos Agrícolas agrupada en la categoría Otros en el Área de Conservación Osa en un período de 13 años.



Área de Cultivos Agrícolas en 1992. Foto DMA 1992



Área de Cultivos Agrícolas en 2005. Foto Carta 2005

Anexo 8. Análisis de probabilidad mediante el estadístico Kappa (K_{hat}).

$$K_{hat} = \frac{N \times \sum_{i=1}^r X_{ii} - \sum_{i=1}^r (X_{ii} \times X_{+i})}{N^2 - \sum (X_{i+} \times X_{+i})}$$

$$K_{hat} = \frac{100 \times (2 + 66 + 1 + 1 + 28) - ((2 \times 2) + (66 \times 68) + (1 \times 1) + (1 \times 1) + (30 \times 28))}{100^2 - ((2 \times 2) + (66 \times 68) + (1 \times 1) + (1 \times 1) + (30 \times 28))} = 0,96$$