

Instituto Tecnológico de Costa Rica

Escuela de Ingeniería Forestal



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

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

Claudia Andrea Tapia Arenas

Cartago, Costa Rica
2007

RESUMEN

Se ortorectificaron fotografías aéreas de 1992 y el 2005 con el software Erdas Imagine 8.5 y se utilizó una imagen satelital Landsat 5 ortorectificada de 1986 y otra georeferenciada de 1992 para analizar los cambios en el uso del suelo de 50 fincas sometidas a Pago por Servicios Ambientales (PSA) modalidad Protección y 92 fincas que no han sido incorporadas a PSA (36 fincas “Buffers” ubicadas en un área de amortiguamiento entre 3-6 km² de fincas PSA; 40 fincas “Distritos” ubicadas en los mismos distritos que las de PSA y 16 fincas “Vecinos” que colindan con fincas PSA). Las fincas están localizadas en las regiones Huetar Norte, Huetar Atlántica y Central y para cada una fue posible calcular las tasas de deforestación anual y elaborar una matriz de transición para los periodos 1986-1992 y 1992-2005.

Los resultados indican que la mayor tasa de deforestación anual se dio en el primer periodo (1986-1992). Existen transiciones de uso muy dinámicas de bosque natural y potreros que tienden a cambiar entre ellos en este periodo. En el segundo periodo (1992-2005) las tasas de deforestación anual tienden a disminuir. En este periodo también se observa transiciones de uso dinámicos de bosque natural y potreros que tienden a cambiar entre ellos pero a menor escala, y existe un cambio importante en el uso de potreros a cultivos agrícolas. Los cultivos, una vez establecidos difícilmente cambian a otra categoría de uso en las fincas no PSA. La mayor cobertura de bosque natural se registró en las fincas PSA en los tres años de estudio.

Palabras Clave: Ortorectificación de fotografías aéreas, deforestación, cambio en el uso del suelo.

ABSTRACT

Aerial photographs from 1992 and 2005 were orthorectified with the software Erdas Imagine 8.5 and used along with an orthorectified satellite image of Landsat 5 from 1986, and another one georeferenced from 1992 to analyze land use changes of 50 properties under payments for environmental services (PES or PSA) and 92 properties that have not been subjected to PES (36 farms “Buffers” located in a buffer area between 3 and 6 km² of PES properties; 40 farms “Distritos” located in the same districts that PES properties and 16 properties “Vecinos” direct neighbors of PES farms). The properties are located in the regions Huetar Norte, Huetar Atlántica and Central of Costa Rica. With the available information it was possible to calculate the rates of annual deforestation and land use change matrix for the 1986-1992 and 1992-2005 periods of such properties.

The results indicated that the highest annual rate of deforestation happened in the first period (1986-1992). In the same period occurred dynamic transitions of natural forest and pastures that had the tendency of changing between them. In the second period (1992-2005) the annual rate of deforestation decreased substantially. In these period occurred dynamic transitions of natural forest and pastures that changed between them but in a minor scale that in the first one, and there was an important change in the lands of pastures to crops. Once the crops were established they hardly suffered changes to another land use in the farms not PSA. In the tree years of this study the PSA farms where the ones that presented the highest natural forest coverage.

Keywords: orthorectification of aerial photographs, deforestation, land use changes.

**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**

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 Malavassi,
Profesor Asesor Escuela de Ingeniería Forestal**

**Ing. Casia Soto Montoya
Lectora**

**M.Sc. Barulio Vilchez Alvarado
Lector**

DEDICATORIA

Este trabajo se lo dedico:

A mi madre y padre, quienes siempre me han apoyado en todo, por su gran ejemplo y lucha constante.

A mi mejor amigo, Mario Alberto Rodríguez (1984-2005) quien siempre demostró una gran fortaleza y un espíritu de lucha incansable. Las cosas bellas de la vida son las que permanecen y nos hacen sonreír en tiempos de soledad.

AGRADECIMIENTOS

Agradezco a Rodrigo Arriagada por la oportunidad de trabajar en este proyecto.

A Edgar Ortiz por su valiosa guía, colaboración y confianza.

A Casia Soto por sus consejos durante el desarrollo de esta práctica.

Al profesorado de la Escuela de Ingeniería Forestal que se preocupa por formar excelentes profesionales, sobre todo a Braulio Vílchez por los consejos y valioso apoyo a lo largo de toda la carrera.

Un agradecimiento especial a mi familia, muy especialmente a mi abuela Zoila por su incondicional apoyo a lo largo de toda mi vida, a mis padres y hermanos.

A todos mis compañeros de carrera y amigos cercanos, especialmente a Víctor, Javier, Nancy, Zamora, Mario G y Sofía.

A los funcionarios de la Escuela de Ingeniería Forestal, especialmente a Jesús y Violeta por brindarme siempre una mano amiga.

ÍNDICE GENERAL

RESUMEN	i
ABSTRACT	ii
DEDICATORIA.....	iv
AGRADECIMIENTOS	v
ÍNDICE GENERAL.....	vi
ÍNDICE DE CUADROS	viii
ÍNDICE DE FIGURAS	x
ÍNDICE DE ANEXOS	xiii
INTRODUCCIÓN	1
OBJETIVOS	2
Objetivo General.....	2
Objetivos Específicos	2
REVISIÓN DE LITERATURA.....	3
Sistemas de Información Geográfica y sensores remotos	3
Imágenes satelitales	4
Fotografías aéreas	5
Escaneo de fotografías aéreas.....	7
Ortorectificación de fotografías aéreas.....	9
Fotogrametría y escala.....	10
Fotointerpretación.....	11
METODOLOGÍA	14
Identificación del área de trabajo.....	14
Elaboración de listado de las fotografías aéreas	15
Obtención y escaneo de fotografías aéreas	17
Ortorectificación.....	18
Ortorectificación de fotografías aéreas de 1992 (“Frame camera”)	19
Ortorectificación de las fotografías aéreas del 2005 con cámara digital.....	40
Ortorectificación de fotografías con el archivo shape de la misión Carta 2005 ..	44
Visitas de campo	45
Georeferenciación de fincas	45
Fotointerpretación.....	46

Clasificación supervisada de imágenes satelitales.....	47
Cambio de uso y tasa de deforestación	48
Capacidad de uso.....	50
RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....	51
Deforestación	57
Tasas de deforestación anual.....	59
Cambio de uso en la tierra.....	61
Usos del suelo	61
Cambios en el uso del suelo en el primer periodo (1986-1992)	65
Cambios en el uso del suelo en el segundo periodo (1992-2005).....	66
Matrices de transición primer periodo (1986-1992)	68
Matrices de transición segundo periodo (1992-2005).....	72
Relación capacidad de uso de la tierra y uso	78
CONCLUSIONES	88
RECOMENDACIONES	91
LITERATURA CONSULTADA	92
ANEXOS	98

ÍNDICE DE CUADROS

Cuadro 1. Combinaciones de bandas de sensores multiespectrales para generar imágenes en falso color.	4
Cuadro 2. Tamaño de píxel sobre el terreno en metros en función de la resolución de escaneo y la escala media de la fotografía aérea.	8
Cuadro 3. Ecuaciones utilizadas para calcular el tamaño del píxel sobre el terreno en metros en función de la resolución de escaneo.	8
Cuadro 4. Área inicial de las fincas bajo estudio.	14
Cuadro 5. Posiciones de las marcas fiduciales de las fotografías de 1992 de acuerdo a la información suministrada por el IGN.	17
Cuadro 6. Área inicial y final de las fincas bajo estudio.	51
Cuadro 7. Cantidad de fincas cubiertas por fotografías aéreas de 1992	52
Cuadro 8. Cantidad de fincas cubiertas por fotografías aéreas del 2005.	53
Cuadro 9. Cobertura boscosa en los años 1986, 1992 y 2005 de las fincas bajo estudio.	57
Cuadro 10. Tasa de cambio neta anual para el periodo 1986-1992 en las fincas bajo estudio.	66
Cuadro 11. Tasa de cambio neta anual para el periodo 1992-2005 en las fincas bajo estudio.	67
Cuadro 12. Matriz de transición entre categorías de cobertura en las fincas Buffers entre 1986 y 1992.	68
Cuadro 13. Matriz de transición entre categorías de cobertura en las fincas Distritos entre 1986-1992.	69
Cuadro 14. Matriz de transición entre categorías de cobertura en las fincas Vecinos entre 1986-1992.	70
Cuadro 15. Matriz de transición entre categorías de cobertura en las fincas PSA entre 1986-1992.	71
Cuadro 16. Matriz de transición entre categorías de cobertura en las fincas Buffers entre 1992-2005.	73
Cuadro 17. Matriz de transición entre categorías de cobertura en las fincas Distritos entre 1992-2005.	74

Cuadro 18. Matriz de transición entre categorías de cobertura en las fincas Vecinos entre 1992-2005.....	75
Cuadro 19. Matriz de transición entre categorías de cobertura en las fincas PSA entre 1992-2005.....	76
Cuadro 20. Capacidad de uso de la tierra según el tipo de fincas.....	79
Cuadro 21. Capacidad de uso de la tierra de acuerdo al uso observado en 1986 para los cuatro tipos de fincas.....	80
Cuadro 22. Capacidad de uso de la tierra de acuerdo al uso observado en 1992 para los cuatro tipos de fincas.....	82
Cuadro 23. Capacidad de uso de la tierra de acuerdo al uso observado en el 2005 para los cuatro tipos de fincas.....	84

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Ubicación de las fincas bajo estudio en las provincias de Limón, Heredia y Cartago.....	15
Figura 2. Ventana para realizar la conversión de formato de la imagen a *img con el programa Erdas Imagine 8.5.....	19
Figura 3. Verificación de la ubicación de las imágenes con el programa Erdas Imagine 8.5.	20
Figura 4. Icono para abrir las opciones de Data Preparation del programa Erdas Imagine 8.5.	22
Figura 5. Ventana “Set Geo Correction Input File” para especificar la ubicación de la imagen que se quiere georeferenciar.....	22
Figura 6. Ventana para verificar la proyección que se va a utilizar con el programa Erdas Imagine 8.5.	23
Figura 7. Ventana en la cual se puede observar los puntos de control creados y las coordenadas “x”,”y”.	23
Figura 8. Ventana para crear un nuevo proyecto de ortorectificación en el programa Erdas Imagine 8.5.....	24
Figura 9. Ventana en la cual se debe especificar el nombre y la ubicación del nuevo proyecto de ortorectificación del programa Erdas Imagine 8.5.....	25
Figura 10. Ventana en la cual se define el tipo de cámara.	25
Figura 11. Ventana “Projection Chooser” en la cual se selecciona la proyección que se va a utilizar para la ortorectificación de las fotografías en el programa Erdas Imagine 8.5.	26
Figura 12. Ventana en la cual se establecen las unidades de referencia para la ortorectificación de las fotografías en el programa Erdas Imagine 8.5.....	26
Figura 13. Ventana en la cual se define el sistema de rotación, la dirección de la foto y el promedio de vuelo para la ortorectificación de las fotografías en el programa Erdas Imagine 8.5.....	27
Figura 14. Ventana principal de Orthobase en la que se muestra con color verde el estado “Online” demostrando así que se han agregado las fotografías que se van a ortorectificar.....	28

Figura 15. Ventana en la cual se calcula las capas de la pirámide de las fotografías a ortorectificar en el menú Edit de Erdas Imagine 8.5.....	28
Figura 16. Ventana principal de Orthobase en la que se muestra con color verde que el proceso “Online” y “Pyr” ha sido completado.	29
Figura 17. Pestaña “Sensor” en la cual se define el diámetro de la lente de la cámara utilizada.	29
Figura 18. Ventana en la cual se define la información de la cámara.	30
Figura 19. Pestaña “Interior Orientation” en la cual se define la orientación interna de la fotografía.	30
Figura 20. Ventana en la cual se ubican las marcas fiduciales en el orden correspondiente.	31
Figura 21. Orientación de las marcas fiduciales para las fotografías aéreas de 1992.	31
Figura 22. Pestaña “Exterior Information” en la cual se define la información exterior de las fotografías.....	32
Figura 23. Ventana principal de Orthobase en la cual se muestra con color verde que los procesos “Online”, Pyr.” e “Int.” han sido completados.....	33
Figura 24. Ventana en la cual se establecen los puntos de control con sus respectivas coordenadas y elevación.	34
Figura 25. Pestaña “General” de las propiedades de triangulación en la cual se deben definir varios parámetros.....	35
Figura 26. Pestaña “Point” de las propiedades de triangulación en la cual se definen ciertos parámetros.....	36
Figura 27. Pestaña “Interior” de las propiedades de triangulación en la cual se define “Fixed for all images”.	36
Figura 28. Pestaña “Exterior” de las propiedades de triangulación.....	37
Figura 29. Pestaña “Advanced options” de las propiedades de triangulación.....	37
Figura 30. Ventana en la cual se muestra el resumen de la triangulación.	38
Figura 31. Ventana principal de OrthoBase en la cual se muestra con color verde que los procesos “Online”, Pyr.”. “Int.” y “Ext.” han sido completados	38
Figura 32. Ventana “Ortho Resampling” en la cual se definen los parámetros finales para crear la ortoimagen.....	39

Figura 33. Ventana que muestra el progreso del proceso de ortorectificación para las fotografías seleccionadas.	40
Figura 34. Ventana principal Orthobase en la cual se muestra con color verde que todos los procesos han sido completados.	40
Figura 35. Porcentaje de la cobertura boscosa en las fincas analizadas para los años 1986,1992 y 2005.....	58
Figura 36. Tasa de deforestación anual en las fincas bajo estudio para los periodos 1986-1992 y 1992-2005.	59
Figura 37. Uso de la tierra en diferentes años en el caso de las fincas Buffers.	62
Figura 38. Uso de la tierra en diferentes años en el caso de las fincas Distritos.	63
Figura 39. Uso de la tierra en diferentes años en el caso de las fincas Vecinos....	64
Figura 40. Uso de la tierra en diferentes años en el caso de las fincas PSA.	65

ÍNDICE DE ANEXOS

Anexo 1. Cobertura de las ortofotos de la misión Dma de 1992 generadas de acuerdo a las hojas cartográficas escala 1:50 000.	98
Anexo 2. Cobertura de las ortofotos de la misión Carta del 2005 generadas de acuerdo a las hojas cartográficas escala 1:50 000.	99

INTRODUCCIÓN

Los bosques ofrecen gran cantidad de servicios ambientales, tales como belleza escénica, captura de dióxido de carbono, protección de recursos hídricos y biodiversidad, también ofrecen una gran gama de productos (maderables y no maderables).

La deforestación, producto de aprovechamientos no sostenibles, crecimiento demográfico y cambio de uso del suelo provoca una pérdida en todos los servicios ambientales que un bosque puede brindar. Además se debe resaltar que la deforestación constituye uno de los elementos causantes de una mayor concentración de gases de efecto invernadero en la atmósfera.

Las tasas de deforestación en Costa Rica alcanzaron cifras alarmantes, lo cual ocasionó un cambio en las políticas del país, y fue así como nació, en 1997, el programa de Pago por Servicios Ambientales (PSA). El mismo consiste en una retribución económica a los dueños de bosque por los servicios ambientales que prestan.

El programa PSA se ha ido modificando con el tiempo y dada su relevancia se ha diseñado un proyecto para evaluar la efectividad real del mismo a cargo de Arriagada (s.f.) denominado “Econometric Evaluation of Costa Rica’s Payments for Environmental Services: Scaling up analysis to a national level and learning from policy implementation”. El presente trabajo consiste en determinar cambios en el uso del suelo de fincas que han sido sometidas a PSA modalidad Protección y fincas que no han sido sometidas a ese tipo de régimen forestal pero que tienen características biofísicas y socio-económicas similares a las anteriores en la región Huetar Norte, Huetar Atlántica y Central de Costa Rica a partir de dos imágenes del satélite Landsat 5 (1986 y 1992) y ortofotos de 1992 y 2005.

OBJETIVOS

Objetivo General

Determinar cambios en el uso del suelo en los períodos 1986-1992 y 1992-2005, a partir de fotografías aéreas e imágenes satelitales de fincas ubicadas en la región Huetar Norte, Huetar Atlántica y Central de Costa Rica.

Objetivos Específicos

- Determinar tasas de deforestación y analizar las posibles causas en los períodos 1986-1992 y 1992-2005 de las fincas seleccionadas.
- Elaborar una matriz de transición a partir de los diferentes usos del suelo en las fincas sujetas a estudio en los años 1986, 1992 y 2005.
- Relacionar la capacidad de uso de la tierra de las fincas con el uso dado en los años 1986, 1992 y 2005.

REVISIÓN DE LITERATURA

Sistemas de Información Geográfica y sensores remotos

Los sistemas de información geográfica constituyen una herramienta de gran utilidad. Se definen como *“el conjunto de procesamientos, equipos y programas de computación utilizados para la recolección, pre-procesamiento, almacenamiento, y análisis de datos geográficamente referenciados”* (Ortiz, 2001).

El desarrollo de los Sistemas de Información Geográfica ha ido de la mano con los adelantos en computación, cartografía y geografía. En la actualidad existe gran cantidad de *softwares* capaces de manipular datos para resolver todo tipo de problemas, ya que siempre ha existido una estrecha relación entre la cartografía y las demás ciencias (Rodríguez, s.f.)

Los sensores remotos otorgan la posibilidad de coleccionar información de los objetos sin tener un contacto directo con los mismos, en la actualidad esta disciplina también se conoce con el término *“Teledetección”*. Es considerado como el arte o ciencia para adquirir, procesar y analizar imágenes de objetos sin tener un contacto directo con ellos para poder resolver problemas concretos u obtener información valiosa y confiable. Las fotografías aéreas constituyen uno de los sensores remotos de uso más frecuente, aunque las imágenes satelitales también han ido adquiriendo importancia (Fallas, 2002).

Los sensores remotos detectan la energía que los objetos sobre el terreno reflejan o emiten de esa manera se puede obtener datos de las características de estos (Ortiz, 2001). Los sensores remotos que son utilizados en los recursos naturales tales como fotografías aéreas, imágenes satelitales, etc. trabajan en tres bandas del espectro electromagnético: visible (corresponde a los colores que el ojo

humano puede percibir va desde 0,4 a 0,7 micrones), infrarrojo (0,7 a > 0,3 micrones) y micro ondas (1 mm a 1 m) (Fallas, 2003).

Imágenes satelitales

Las imágenes satelitales se pueden manipular con varios programas computacionales y algunas se encuentran disponibles gratuitamente en Internet.

La manipulación de las bandas que conforman las imágenes satelitales sirve para poder visualizar de mejor manera la imagen. Se pueden realizar varias combinaciones que darán como resultado imágenes en color verdadero o falso color (Fallas, 2003).

En color verdadero se utilizan las bandas del espectro visible (azul, verde y rojo), sin embargo esa combinación de bandas no permite hacer una clasificación de cobertura de manera sencilla. Por su parte, las imágenes en falso color (Cuadro 1) se establece el color azul a una de las bandas visibles (rojo o verde), el verde a la banda del infrarrojo medio y el rojo a la banda infrarrojo cercano; de esta manera se facilita la identificación de distintos tipos de cobertura (Fallas, 2003).

Cuadro 1. Combinaciones de bandas de sensores multiespectrales para generar imágenes en falso color.

Combinación de bandas			
Opción	Rojo	Verde	Azul
1	5	4	1
2	5	1	4
3	1	4	5
4	1	5	4
5	4	5	1
6	4	1	5

Fuente: Fallas (2003)

La resolución espacial de los satélites se refiere al área mínima sobre el terreno que el sensor puede captar, la identificación de objetos sobre la superficie depende de la resolución espacial, a mayor resolución espacial más sencilla es la tarea de identificación. Por su parte, la resolución radiométrica corresponde a la capacidad que tiene el sensor para puntualizar pequeñas diferencias de energía. Por último, la resolución espectral se refiere a la habilidad que tiene el sensor para diferenciar energía proveniente de distintas longitudes de onda (Ortiz, 2001).

Para realizar una clasificación supervisada en una imagen satelital no es necesario hacer visitas al campo, se pueden establecer áreas de entrenamiento e interpretarlas al crear una imagen falso color; así se establecen firmas espectrales que corresponden a diferentes tipos de cobertura y con ello se puede clasificar la imagen asignando el tipo de cobertura a cada píxel (Ortiz, 2001). Este producto luego puede validarse en visitas de campo.

Por su parte, la clasificación no supervisada no contempla el uso de zonas de entrenamiento sino que se realiza una clasificación usando un “algoritmo matemático de agrupación”, de esa forma se establecen grupos de píxeles semejantes en los valores de todas las bandas para que una persona pueda designar el nombre de cobertura correspondiente a cada grupo con información auxiliar o puntos de GPS de visitas al campo (Ortiz, 2001).

Fotografías aéreas

Las fotografías aéreas provienen de la captación de imágenes de una cámara fotográfica desde un avión en movimiento, la imagen captada es una “*abstracción del terreno*”. El terreno o los objetos que se encuentran sobre el mismo absorben una parte de la radiación del sol y otra parte es reflejada, de acuerdo a su composición, así la cámara capta un porcentaje de la energía reflejada, pues otra parte es captada por la atmósfera y por los filtros de la misma cámara (Deagostini, 1978).

Existen tres tipos de fotografías aéreas: vertical, oblicua y panorámica. La más comúnmente utilizada es la vertical. También se puede hacer una clasificación de acuerdo al tipo de película utilizado, así se puede contar con fotografías: pancromáticas (toma en cuenta el espectro visible de un ser humano), color (la diferenciación de tonos aumenta), infrarroja (blanco y negro la interpretación se vuelve más sencilla pues la clorofila no absorbe esa radiación), e infrarroja color (tienen las ventajas de las dos anteriores, por lo tanto ofrecen mayores posibilidades) (González y Marey, 2006).

Las ventajas del uso de las fotografías aéreas de acuerdo con Fallas (2002) son: proveen gran detalle, costo relativamente bajo y se cuenta con archivos fotográficos de más de 50 años. Según Ortiz (2001) otras ventajas de las fotografías aéreas es que se puede tener una visión general de grandes áreas pudiendo extraerse información muy variada (cobertura vegetal, geología, etc.), se puede tener un registro almacenado y comparar diferentes situaciones presentadas en épocas distintas de una misma área además las fotografías aéreas tienen “*una gran resolución y fidelidad geométrica*”.

Sin embargo, de igual manera se reconocen varias limitaciones de las fotografías aéreas, entre ellas: no es la mejor herramienta a utilizar en trabajos de escala nacional o regional debido a la gran cantidad de fotos que se tendrían que analizar, en la mayoría de los países no se encuentran fotografías recientes y debido a la frecuencia de la nubosidad en los trópicos no se puede actualizar la cobertura fotográfica (Fallas, 2002). También, González y Marey (2006) reconocen ciertos problemas: discrepancias de color entre fotos anexas, zonas totalmente negras en las fotos y mala georeferenciación.

Para la toma de fotografías aéreas se debe planificar la misión del vuelo, es decir altura de vuelo, dirección, equipo a utilizar, etc. (Spurr, 1960). Hay ocasiones en las cuales no se cuenta con fotografías de ciertas áreas, en esos casos algunos autores (INBio, c2007; Peña, *et al.*, 2005) han optado por complementar esa información con fotografías de distinto año.

Escaneo de fotografías aéreas

Las fotografías son escaneadas a partir del negativo o un *positivo* a una resolución de 2 500 dpi (puntos por pulgada) en el caso de aplicaciones fotogramétricas, en otras aplicaciones menos rigurosas se puede realizar a una resolución de 300-400 dpi. Además, se debe tomar en cuenta que para fotografías en blanco y negro se escanea usando tonos de grises, por lo tanto cada píxel adquiere un valor entre 0 (negro) y 250 (blanco) (Fallas, 2002).

A pesar de que los escáneres de escritorio no otorgan un gran detalle en las imágenes como aquellos con calidad fotogramétrica se considera apropiado utilizarlos para trabajos de fotogrametría digital que apoya aplicaciones de SIG o teledetección. Cuando se utilicen escáneres de escritorio el área efectiva debe ser de al menos 9 x 9 pulgadas, esto se refiere a un escáner tipo A3, con el fin de capturar toda el área de la imagen (Leica, c2007).

Pueden existir errores en las fotografías debido a errores en el proceso de escaneo, debido a esto la aplicación "OrthoBASE" del programa Erdas Imagine 8.5 considera los errores sistemáticos por errores de escaneo (Leica, c2007).

La resolución de imágenes es determinada usualmente por la resolución de escaneo en el caso de fotografías en película o debido a la resolución del píxel del sensor.

Para el escaneo de fotografías aéreas se debe tomar en cuenta: resolución del escaneo, escala media de vuelo y límite de percepción visual de la escala del producto final. La selección de la resolución para el escaneo de la foto debe ser apropiada a la escala original y al tamaño de píxel deseado. Ese tamaño de píxel se debe escoger con base al límite de percepción visual, el cual es de 0,2 mm por la fracción representativa de la ortofoto (Fallas, 2004). En el Cuadro 2 se muestra una aproximación de los tamaños de píxel sobre el terreno para diferentes escalas.

Cuadro 2. Tamaño de píxel sobre el terreno en metros en función de la resolución de escaneo y la escala media de la fotografía aérea.

Escaneo		Escala media de la fotografía							
Resolución Escaneo (dpi)	Tamaño Píxel (micras)	1/5,000	1/8,000	1/10,000	1/15,000	1/18,000	1/20,000	1/25,000	1/30,000
300	84,67	0,42	0,68	0,85	1,27	1,52	1,69	2,12	2,54
400	63,5	0,32	0,51	0,64	0,95	1,14	1,27	1,59	1,91
500	50,8	0,25	0,41	0,51	0,76	0,91	1,02	1,27	1,52
600	42,33	0,21	0,34	0,42	0,64	0,76	0,85	1,06	1,27
800	31,75	0,16	0,25	0,32	0,48	0,57	0,64	0,79	0,95
900	28,22	0,14	0,23	0,28	0,42	0,51	0,56	0,71	0,85
1000	25,4	0,13	0,2	0,25	0,38	0,46	0,51	0,64	0,76
1200	21,17	0,11	0,17	0,21	0,32	0,38	0,42	0,53	0,64
1400	18,14	0,09	0,15	0,18	0,27	0,33	0,36	0,45	0,54
1600	15,88	0,08	0,13	0,16	0,24	0,29	0,32	0,4	0,48
1800	14,11	0,07	0,11	0,14	0,21	0,25	0,28	0,35	0,42

Fuente: Fallas 2004

Existen ecuaciones para poder determinar el tamaño del píxel sobre el terreno, en el Cuadro 3 se muestran algunas según Fallas (2004).

Cuadro 3. Ecuaciones utilizadas para calcular el tamaño del píxel sobre el terreno en metros en función de la resolución de escaneo.

DPI	Ecuación	R ²
300	Píxel (m) = -0,000308+0,0000846*X	0,999
600	Píxel (m) = -0,000893+0,00004242*X	0,999
900	Píxel (m) = -0,001754+0,00002835*X	0,999

Donde, “X” corresponde a la fracción representativa de la escala, por ejemplo una foto con escala 1:60 000, la fracción representativa sería el valor 60 000.

Según Martí (2002) una vez escaneadas las fotografías lo mejor es almacenarlas en formato *.TIF porque *“no emplea algoritmos de compresión que afecten la calidad de la imagen”*.

Ortorectificación de fotografías aéreas

Las fotografías aéreas cuentan con “deformaciones geométricas”, estas se refieren a desplazamientos o imperfecciones debido al relieve y a la inclinación de la fotografía, también influye la distorsión del lente de la cámara (Deagostini, 1978). Por lo tanto, es necesario procesar las fotografías aéreas con el fin de corregir *“las distorsiones de la cámara y el efecto de desplazamiento del relieve”* (Fallas, 2004).

Para poder corregir el error de desplazamiento del relieve se debe contar con un Modelo de Elevación Digital (MED) y un software que pueda crear “ortoimágenes” u “ortofotos”. El MED es un archivo que contiene la información de las elevaciones de un lugar y permite que el software pueda modelar la superficie terrestre (Fallas, 2004).

En el caso del programa Erdas Imagine 8.5, el error RMS (Root Means Squared) es calculado una vez que se han ingresado los puntos de las marcas fiduciales, si los puntos fueron bien introducidos y se tiene un error elevado (la mitad de la resolución del escaneado o más) se debe a la mala colocación de la película o resultado del proceso de escaneado (Caimel, 2002).

Fotogrametría y escala

La fotogrametría es definida como la ciencia, técnica o arte de obtener mediciones confiables o características métricas y geométricas de una fotografía (Spurr, 1960; Bracho, 1976; Deagostini, 1978).

El objetivo principal que se persigue es la elaboración de mapas por medio del uso de fotografías (aéreas o terrestres) y el análisis tanto cualitativo como cuantitativo de las mismas. Además, por medios fotogramétricos es posible resolver problemas de planificación (Garro, *et al.*, 1982).

Debido a las deformaciones geométricas de las fotografías aéreas la escala en la misma varía (Deagostini, 1978), por esa razón se deben ortorectificar. Así no se tendrán distorsiones de escala, tilt o de relieve y se podrán usar como “*fotos-mapa*” ya que la escala va a ser constante en toda la foto (Ortiz, 2001).

La escala de la fotografía aérea se puede determinar de varias formas (Spurr, 1960):

- Conociendo la altura de vuelo del avión y la distancia en la fotografía.
- Con los datos de la distancia en la fotografía y la longitud focal de la cámara utilizada.
- Conociendo la distancia en la fotografía y la distancia real en el terreno con la ecuación:

$$Escala = s = \frac{\text{dis tan cia en foto } (d)}{\text{dis tan cia real en el terreno } (D)}$$

Fuente: Ortiz 2001

Existe un error al comparar mapas de diferentes escalas, puesto que no se puede visualizar con el mismo nivel de detalle los usos o coberturas. Por esa razón Mas y Fernández (2003) recomiendan evitar la comparación de mapas de distinta escala.

De acuerdo con Peña *et al.* (2005) se debe seleccionar la escala a la cual se va a cartografiar con base en la resolución espacial de la fotografía aérea, en el estudio realizado por Peña *et al.* (2005) determinaron una escala de 1:10 000 para el producto final, por lo tanto pudieron trabajar con fotografías con escala de hasta 1:60 000.

Se debe aclarar que las fotografías aéreas siempre se deben ortorectificar, sin importar el relieve del terreno (sea este muy quebrado o plano)¹ y una vez que el proceso de ortorectificación haya finalizado, las fotografías quedan corregidas geoméricamente y georeferenciadas, preparadas para la fotointerpretación (Martí, 2002).

Fotointerpretación

La fotointerpretación ha sido definida como el arte de reconocer o identificar caracteres, objetos o elementos en una fotografía (Spurr, 1960; Bracho, 1976; Deagostini, 1978).

González y Marey (2006) recomiendan, una vez obtenidas las fotografías digitalizadas, georeferenciadas y ortorectificadas, comenzar a hacer la digitación en pantalla de las áreas de interés para luego proceder a la fotointerpretación.

En la fotointerpretación es necesario tener en cuenta diferentes elementos que constituyen la fotografía aérea, ellos son: tamaño, forma, color y tonos, sombras y textura (Spurr, 1960; González y Marey, 2006; INBio, c2007; López y Bocco,

¹ Fallas, J. 2007. Consulta ortofotos. (correo electrónico). San José, Costa Rica, Centro Nacional de Alta Tecnología (CENAT).

2006; Lipiante, 2007; Peña *et al.*, 2005; López *et al.*, 2002a; López *et al.*, 2002b). Todos estos elementos deben ser considerados para poder realizar una identificación, un reconocimiento y un análisis preciso. Cabe resaltar que la fotointerpretación se encuentra sujeta a la experiencia y capacidad de la persona que lo realiza (Spurr, 1960; Gonzáles y Marey, 2006).

La fotointerpretación otorga una clasificación bastante precisa de cambios en el paisaje (90% o más), de acuerdo con Jensen (1986 citado por Peña, *et al.*, 2005). Aún así, en la metodología propuesta por varios autores se menciona la necesidad de realizar una comprobación de campo (INBio, c2007; Peña *et al.*, 2005; Martí, 2002; Kleinn *et al.*, 2001; López *et al.*, 2002b) aunque también hay autores que no lo consideran necesario (López *et al.*, 2002a; Gonzáles y Marey, 2006; Moreno, *et al.*, 2002).

La calidad del análisis está en función de la calidad de la fotografía y el grado de detalle que permita de acuerdo a la escala, tipo de película, calidad del vuelo, etc. (López, *et al.*, 2002a)

Los pasos necesarios para realizar una buena fotointerpretación de acuerdo con Garro, *et al.* (1982) se pueden resumir en:

1. Foto lectura. Corresponde a la observación directa de elementos visibles, para ello se debe detectar dichos elementos y reconocer sus características (tamaño, forma, color y tonos, sombras, textura, patrón, moteado) e identificar cada elemento con un nombre o código.
2. Análisis. Dependiendo del propósito del estudio se deben identificar aquellos elementos relevantes.
3. Deducción. Corresponde a la etapa de combinar las "*observaciones en las fotografías y el conocimiento de otras fuentes para obtener información que no puede ser observada directamente en la fotoimagen misma.*"

Por otra parte, para poder identificar usos de la tierra, Deagostini (1978) especifica ciertas características, a saber:

1. Bosques. Se puede apreciar como áreas oscuras de forma irregular
2. Cultivos. Las huellas dejadas por la acción del arado o líneas de siembre pueden constituir una clave para su identificación. Además en general se observa tonos de grises cuya intensidad puede variar.
3. Pastos. Tienen la característica de presentar un tono uniforme y altura baja.

En el trabajo realizado por Aguilar, *et al.* (1999) se utilizó la textura como la “propiedad diferenciadora” para determinar diferentes usos del suelo de una fotografía aérea, previo conocimiento del terreno y con áreas de entrenamiento. Sin embargo, de acuerdo con Lipiante (2007), la textura es una propiedad difícil de analizar y requiere cierta experiencia. Además, de acuerdo con Spurr (1960), si bien es cierto que en ocasiones se puede identificar un objeto con base en un elemento (textura, color, forma) la mayoría de las veces se deben tomar en cuenta todos los elementos que conforman la foto.

Se debe tener cuidado a la hora de seleccionar las clasificaciones que se van a utilizar en la fotointerpretación, Mas y Fernández (2003) recomiendan utilizar categorías generales para evitar errores en la fotointerpretación, así se puede manejar clasificaciones más confiables.

METODOLOGÍA

Identificación del área de trabajo

Los polígonos de las fincas bajo estudio fueron suministrados como parte del proyecto de Arriagada (s.f.), la información consta de 4 archivos formato shape de ESRI: Psa, Buffers, Distritos y Vecinos. Las fincas denominadas “PSA” son aquellas que han sido sometidas a pago por servicios ambientales bajo la modalidad de protección, las “Buffers” se refiere a aquellas que se localizan dentro de una zona de amortiguamiento de 3-6 km² alrededor de las fincas que están bajo PSA, las fincas “Distritos” corresponde a fincas que se encuentran en el mismo distrito que las fincas PSA, finalmente las fincas “Vecinos” se refiere a las fincas de propietarios que son vecinos directos de fincas que han sido sometidas a PSA. Todas las fincas fueron seleccionadas de acuerdo a indicadores socioeconómicos y aspectos biofísicos con el fin de que todas fueran comparables. En el Cuadro 4 se puede observar la composición de las fincas bajo estudio.

Cuadro 4. Área inicial de las fincas bajo estudio.

Fincas	Cantidad	Área (ha)
Buffers	36	2298,5
Distritos	40	3153,0
PSA	50	5142,4
Vecinos	16	788,3
Total	142	11382,3

Las fincas se ubican en las provincias de Limón, Heredia y Cartago, (ver Figura 1). Cabe desatacar que los planos de algunas fincas presentaron problemas de traslape.

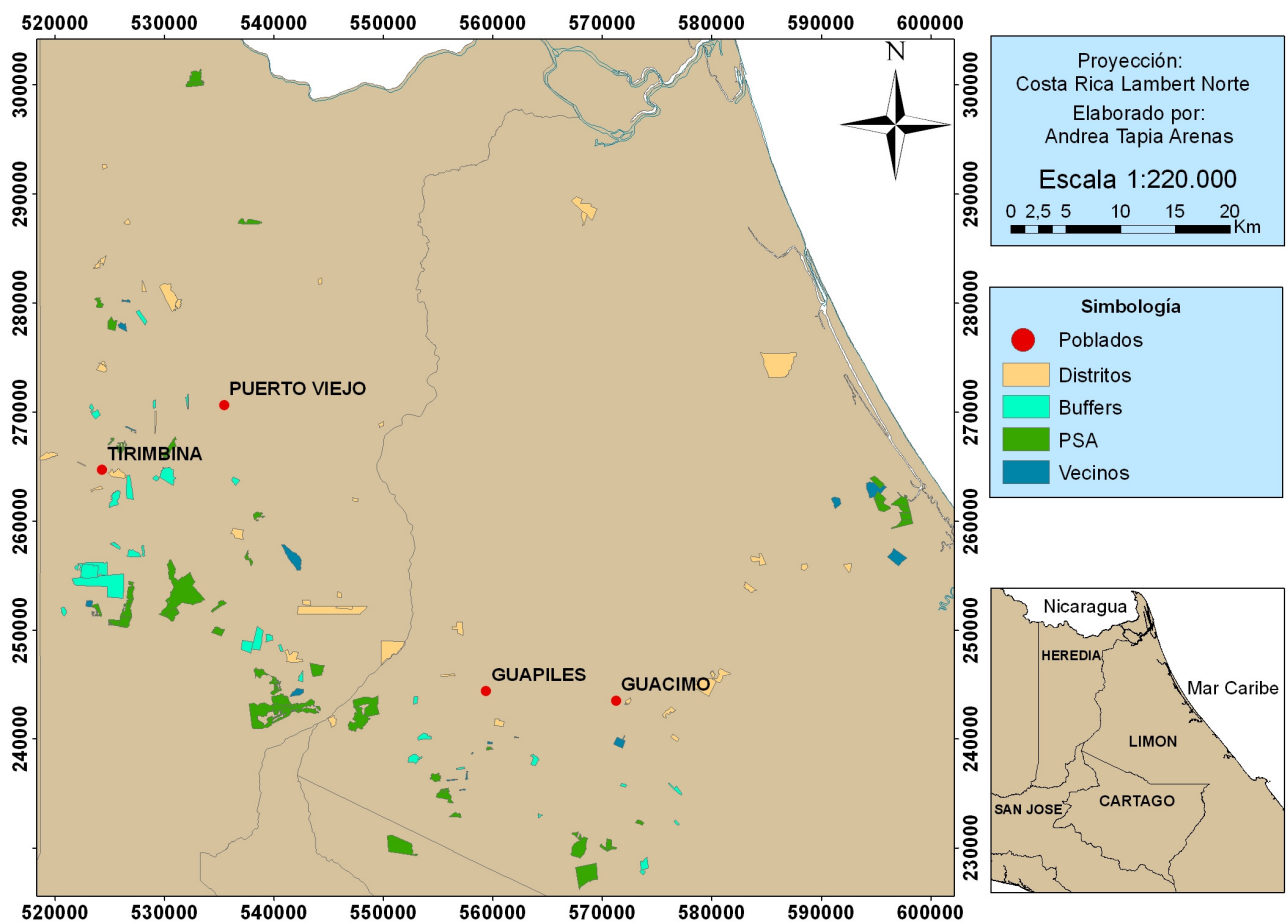


Figura 1. Ubicación de las fincas bajo estudio en las provincias de Limón, Heredia y Cartago.

Acorde con la Figura 1 se puede observar que la mayor concentración de las fincas se encuentra en Heredia.

Elaboración de listado de las fotografías aéreas

En el Laboratorio de Sistemas de Información Geográfica (SIG) de la Escuela de Ingeniería Forestal (EIFO) del I.T.C.R. se encuentran todas las hojas cartográficas escala 1:50 000 georeferenciadas con un error menor a 10 metros con respecto a la malla de coordenadas.

Se utilizó el programa ArcView 3.2 (con la extensión Image Analysis) para ubicar los polígonos de las fincas bajo estudio en las hojas cartográficas digitales disponibles en el Laboratorio de SIG de la EIFO.

Las hojas cartográficas digitales 1:50 000 utilizadas fueron:

- Agua Fría
- Bonilla
- California
- Carrillo
- Chaparrón
- Chirripó Atlántico
- Cutris
- Guácimo
- Guápiles
- Parismina
- Poás
- Río Cuarto
- Río Sucio
- Tortuguero

Se solicitó al Instituto Geográfico Nacional (IGN) un listado de las fotografías anteriores a 1997 (año en el cual se implementó en el país el programa de PSA). Con el fin de facilitar y agilizar ese trabajo se procedió a imprimir la ubicación de todos los polígonos de las fincas en las respectivas hojas cartográficas 1:50 000.

Al cabo de una semana el IGN proporcionó el listado y se procedió a digitarlo en Excel para conocer la cobertura de las fotografías en el área de estudio.

Dado que las fincas tuvieron mejor cobertura en el año 1992 y se pretendía evaluar el comportamiento de las fincas antes y después de que se implementara en el país el programa de PSA (1997) se decidió trabajar con las fotos de 1992.

En el caso de las fotografías aéreas de la misión Carta 2005 la ubicación de las fotografías necesarias fue mucho más fácil y rápido debido a que se contó con un archivo shape de polígonos que contenía la información para todas las fotografías de la misión Carta 2005.

En una vista de Arc View 3.2 se cargó la información de los polígonos de las fotografías aéreas de la misión Carta 2005 y los polígonos de las fincas bajo estudio, con el comando "Identify" se identificó todas las fotografías necesarias

para cubrir las fincas. Esta información fue añadida al listado de fotografías de años anteriores.

Obtención y escaneo de fotografías aéreas

El Laboratorio de Sistemas de Información Geográfica de la Escuela de Ingeniería Forestal del I.T.C.R. contaba con 12 de las fotografías de 1992, sin embargo debido a las dimensiones de las fotos se tuvo que contratar el servicio de escaneo. El resto de las fotografías de 1992 fueron compradas al I.G.N.

Dado que el proceso de escaneo en el I.G.N. fue realizado a una resolución de 600 d.p.i. al contratar el servicio se solicitó la misma resolución, así se obtuvo productos homogéneos.

Por su parte, las fotografías aéreas del 2005 se encontraban disponibles en el Laboratorio de Sistemas de Información Geográfica de la EIFO del I.T.C.R. en formato digital, de todas formas se tuvo que hacer una solicitud para dos fotografías aéreas de esa misión al CENAT.

En la misión DMA de 1992 se utilizó una cámara Wild RC10, la cual cuenta con un lente de 304,677 mm. En el Cuadro 5 se muestra la posición de las marcas fiduciales, de acuerdo con la información suministrada por el IGN.

Cuadro 5. Posiciones de las marcas fiduciales de las fotografías de 1992 de acuerdo a la información suministrada por el IGN.

Marca fiducial	Posición X (mm)	Posición Y (mm)
1	-106,021	-105,998
2	105,978	105,999
3	-106,012	105,998
4	105,987	-105,998

En la misión Carta 2005 se utilizó la cámara digital DCS, la cual tiene un lente de 50 milímetros.

Ortorectificación

Una vez recopiladas las fotografías aéreas y la información de las características de los vuelos, se procedió a hacer la ortorectificación con el software Erdas Imagine 8.5. Cabe resaltar que el procedimiento es diferente de acuerdo al tipo de cámara utilizado para la toma de las fotos.

La metodología propuesta para la ortorectificación de las fotografías aéreas de 1992 se elaboró con base en el trabajo realizado por Benítez (2002) y el tutorial de Erdas Imagine 8.5 que se encuentra incorporado en el programa. Por su parte, la metodología propuesta para la ortorectificación de las fotografías aéreas con cámaras digitales se elaboró con base en el manual realizado por Ortiz y Soto (2007).

Se utilizó el Modelo de Elevación Digital (MED) elaborado por la NASA (National Aeronautics and Space Administration) de 30x30 metros para realizar la ortorectificación de todas las fotografías aéreas. El MED utilizado fue facilitado por el Laboratorio de Sistemas de Información Geográfica de la Escuela de Ingeniería Forestal del I.T.C.R.

Ortorectificación de fotografías aéreas de 1992 (“Frame camera”)

Paso 1. Conversión de imágenes en formato *.img

Con el programa Erdas Imagine 8.5 se tuvo que convertir el formato de las fotografías a *.img, ya que ese es el formato que utiliza el programa para trabajar.

Al pulsar el ícono “Import” se abrió una ventana en la cual se especificó la ubicación y el formato de la fotografía que se quería cambiar, así como la ubicación de la nueva fotografía en formato *.img (ver Figura 2).

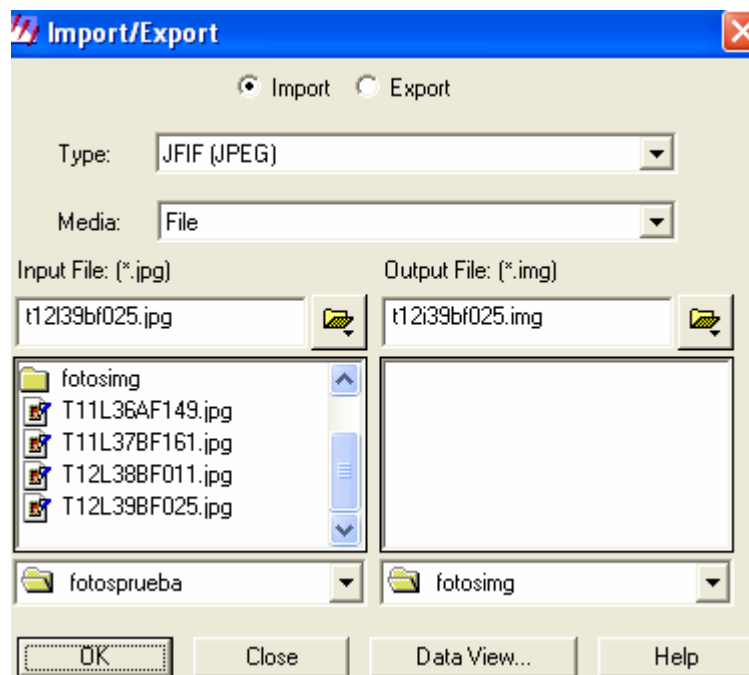


Figura 2. Ventana para realizar la conversión de formato de la imagen a *.img con el programa Erdas Imagine 8.5.

Al aceptar con el botón OK, se abrió otra ventana (Figura 3) en la cual se verificó la información de la ubicación de la foto y nuevamente se aceptó pulsando el botón OK.

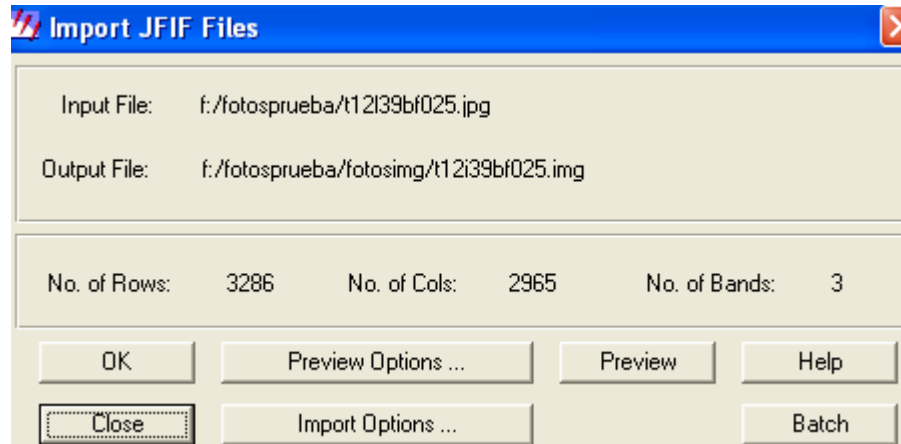


Figura 3. Verificación de la ubicación de las imágenes con el programa Erdas Imagine 8.5.

Paso 2. Selección de fotografías a ortorectificar y recorte del MED

Se procuró seleccionar cada vez, dos fotografías aéreas consecutivas para ortorectificar; además se debe aclarar que el recorte del MED no es estrictamente necesario para realizar el proceso de ortorectificación. En éste caso se hizo con el fin de que el proceso computacional fuera rápido.

Descripción del procedimiento:

- En el programa ArcView 3.2 se creó un nuevo proyecto y se cargó la extensión Image Analysis.
- Se realizó la comprobación de la calidad de las fotografías añadiéndolas en una vista.
- En la misma vista se cargaron las capas de polígonos de las fincas bajo estudio y, como se conocía la ubicación aproximada de la fotografía, se digitó en pantalla un nuevo polígono que cubriera efectivamente el área de la foto. Para esto se creó un nuevo tema de polígonos con el comando

“New Theme” disponible en el menú Theme, el que se utilizó para recortar el Modelo de Elevación Digital (MED).

- En el programa Erdas Imagine 8.5 se abrió una vista o viewer y se cargó el polígono creado. Se seleccionó éste haciendo clic dentro del polígono y luego se procedió a crear el archivo AOI con el comando “Copy selection to AOI” disponible en el menú AOI.
- Posteriormente se guardó el archivo escogiendo la opción “Save AOI layer as” disponible en el menú File/Save, escogiéndose el directorio y el nuevo nombre del archivo.
- Finalmente, en el programa Erdas Imagine 8.5 se procedió a cortar el MED haciendo uso del archivo AOI creado. Para ello se seleccionó el comando Subset disponible en DataPrep. Se abrió una ventana en la cual se especificó la ubicación del MED, el archivo AOI y el nombre y ubicación del MED cortado.

Paso 3. Obtención de coordenadas de los puntos de control

Este paso se hizo para ambas fotografías de forma individual. Consistió en obtener las coordenadas “x”, “y” de los puntos de control, para lo cual se siguió el siguiente procedimiento:

- Se abrieron dos vistas o viewers. En la primera vista se cargó el archivo que contenía la fotografía aérea en formato *.img y en la segunda vista se cargó la información que estaba georeferenciada (con la cual se obtuvo las coordenadas de los puntos de control). Cabe mencionar que el programa permite cargar varias capas de información y manipular el orden de las mismas con el comando “Arrange Layers” (disponible en el menú View). De ésta manera se pudo cargar las

hojas cartográficas georeferenciadas necesarias para obtener las coordenadas “x”, “y”.

- Luego, se seleccionó el ícono “Data Preparation” (ver Figura 4) con lo cual se abrió una ventana con varias opciones, de las cuales se seleccionó “Image Geometric Correction”.



Figura 4. Icono para abrir las opciones de Data Preparation del programa Erdas Imagine 8.5.

- En la Figura 5 se muestra la ventana que se abre inmediatamente en la cual se seleccionó la opción “From Viewer” y al pulsar el botón “Select Viewer” se hizo clic en algún punto dentro de la fotografía.

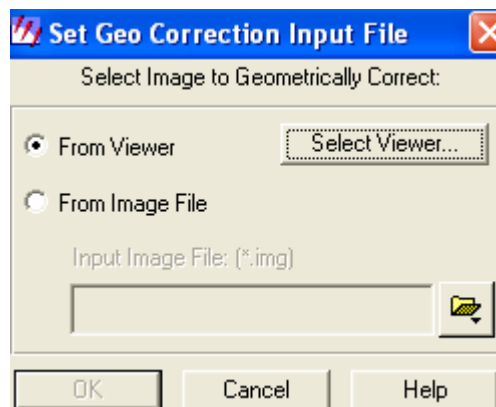


Figura 5. Ventana “Set Geo Correction Input File” para especificar la ubicación de la imagen que se quiere georeferenciar.

- Después, se escogió el modelo “Polynomial” de georeferenciación.
- Se eligió el orden del polinomio 1 y la proyección Lambert Norte (se puede cambiar con el botón Add/Change Projection), luego se cerró la ventana.

- Inmediatamente se abrió la ventana “GCP Tool Referente Setup”, en la cual se seleccionó “Existing Viewer” y se hizo clic en algún punto de la vista donde se tenía la información con la cual se iba a georeferenciar la imagen. Luego se cerró la ventana.
- Posteriormente se abrió de forma automática la ventana “Reference map information”, en donde se pudo verificar la proyección (Figura 6).

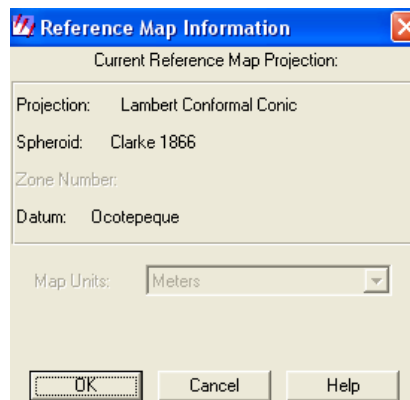


Figura 6. Ventana para verificar la proyección que se va a utilizar con el programa Erdas Imagine 8.5.

- Después se seleccionaron puntos de control en la imagen y los mismos se ubicaron en la ventana que tenía la información georeferenciada, esto se realizó con el botón “Create GCP” (⊕). En la Figura 7 se puede observar la ventana que contiene la información que se utilizó en la ortorectificación de la foto.

Point #	Point ID	Color	X Input	Y Input	Color	X Ref.	Y Ref.	Type	X Residual	Y Residual	RMS Error	Contrib.	Match
2	GCP #2		344.209	-2136.957		550373.801	208671.907	Control	-23.034	5.068	23.585	0.516	
3	GCP #6		2723.800	-2289.205		557372.278	207982.064	Control	38.222	69.302	79.144	1.732	
4	GCP #7		1760.433	-3097.915		554414.819	205565.656	Control	-32.408	-69.482	76.668	1.677	
5	GCP #8		1882.690	-195.285		554722.511	213577.914	Control	-39.841	-51.440	65.065	1.424	
6	GCP #10		1441.857	-729.729		553597.519	212332.598	Control	7.363	3.991	8.376	0.183	
7	GCP #11		268.651	-1662.316		550313.222	210020.997	Control	32.650	19.591	38.077	0.833	
8	GCP #12		845.260	-639.354		551898.897	212702.969	Control	11.725	8.773	14.644	0.320	
9	GCP #14		48.036	-1964.223		549598.147	209193.436	Control	3.030	3.939	4.970	0.109	
10	GCP #9							Control					

Figura 7. Ventana en la cual se puede observar los puntos de control creados y las coordenadas “x”, “y”.

No fue necesario terminar el proceso de georeferenciación puesto que lo único que se buscaba era obtener las coordenadas “x” y “y” de los puntos de control para utilizarlos en el proceso de ortorectificación.

- Con el fin de facilitar la identificación de los puntos de control digitados, se le asignaron colores diferentes en la columna “Color” de la ventana “GCP Tool”
- Para poder ortorectificar una fotografía es necesario contar con un mínimo de 3 puntos de control, sin embargo esto no es recomendable porque aumenta el error en la ortoimagen. Se recomienda adquirir la mayor cantidad de puntos de control posible y que éstos al mismo tiempo se encuentren bien distribuidos en toda la foto.

Paso 4. Inicio del proceso de ortorectificación

Se inició el proceso de ortorectificación en Erdas Imagine 8.5 haciendo clic en el ícono Orthobase. El procedimiento se describe a continuación:

- Una vez abierto Orthobase se seleccionó la opción “Create a new orthobase project” (Figura 8)



Figura 8. Ventana para crear un nuevo proyecto de ortorectificación en el programa Erdas Imagine 8.5.

- En la Figura 9 se muestra la ventana en la cual se debió especificar el nombre y la ubicación del archivo que se va a guardar con la extensión *.blk.

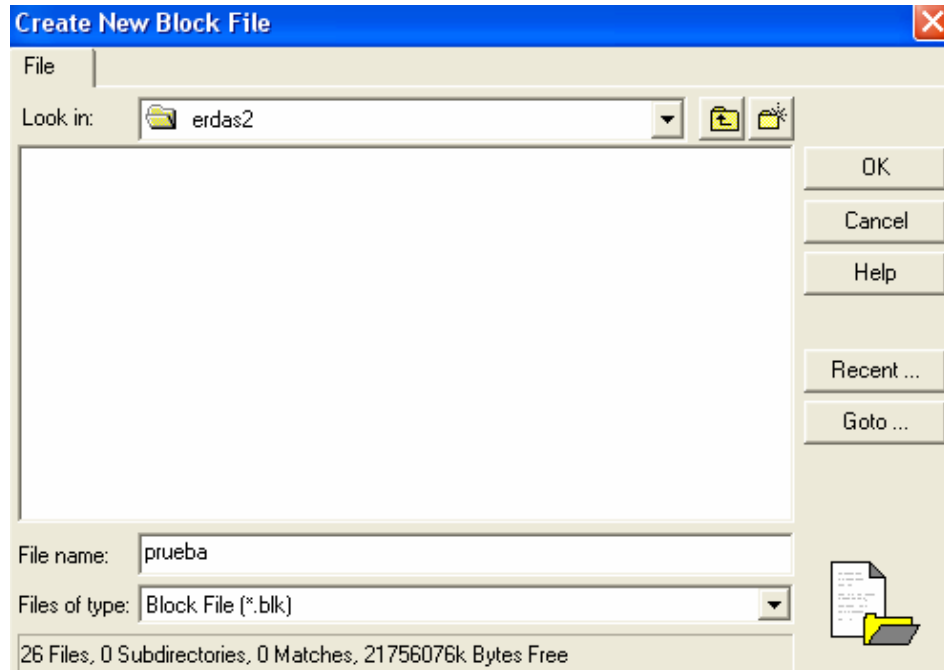


Figura 9. Ventana en la cual se debe especificar el nombre y la ubicación del nuevo proyecto de ortorectificación del programa Erdas Imagine 8.5.

- Se definió “Frame camera” como el tipo de cámara (Figura 10).

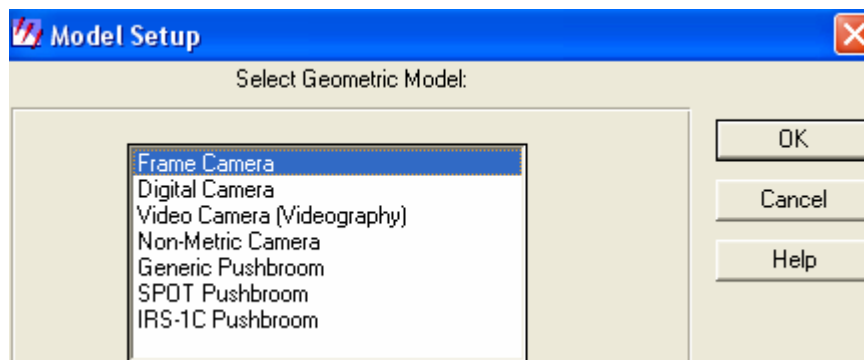


Figura 10. Ventana en la cual se define el tipo de cámara.

- Después se determinó la proyección con el botón “Set projection”, abriéndose la ventana “Projection Chooser”, en donde se pudo elegir la proyección Lambert Norte (Figura 11).

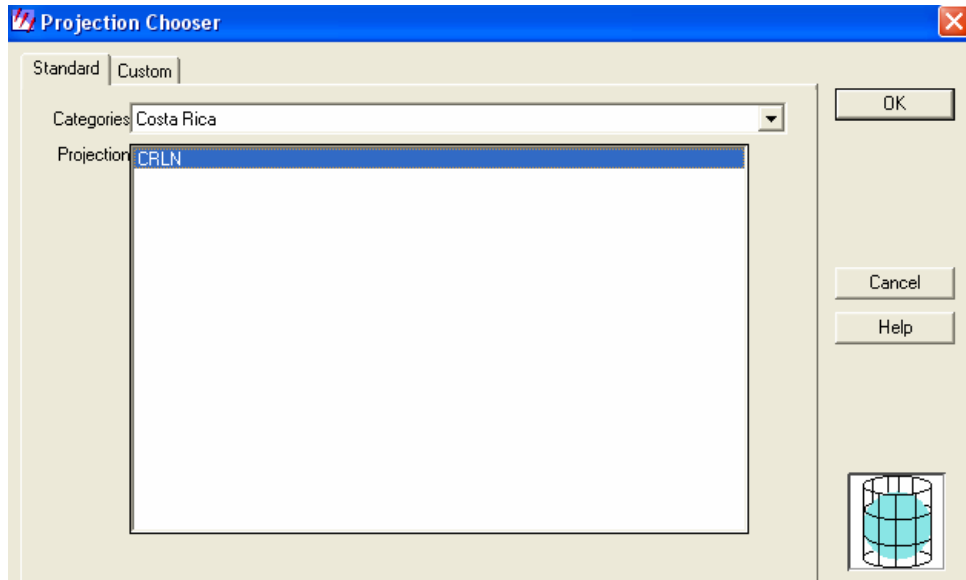


Figura 11. Ventana “Projection Chooser” en la cual se selecciona la proyección que se va a utilizar para la ortorectificación de las fotografías en el programa Erdas Imagine 8.5.

- Al pulsar el botón Next se pudo establecer las unidades como las que se muestra en la Figura 12.

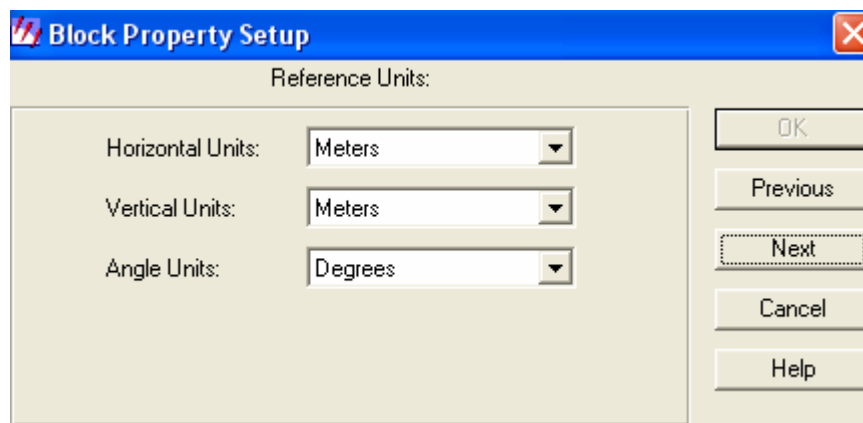


Figura 12. Ventana en la cual se establecen las unidades de referencia para la ortorectificación de las fotografías en el programa Erdas Imagine 8.5.

- Posteriormente se definió el sistema de rotación “Omega, Phi, Kappa”, la dirección de la fotografía “Z-axis for normal images” y la altura promedio de vuelo (Figura 13).

En las fotografías de 1992 la información de la altura promedio está en pies y se encuentra a un costado de la foto. Para introducir esta información, fue necesario convertirla al sistema métrico, y registrarla en el campo “Define Average Fly Height”, presionando luego el botón OK.

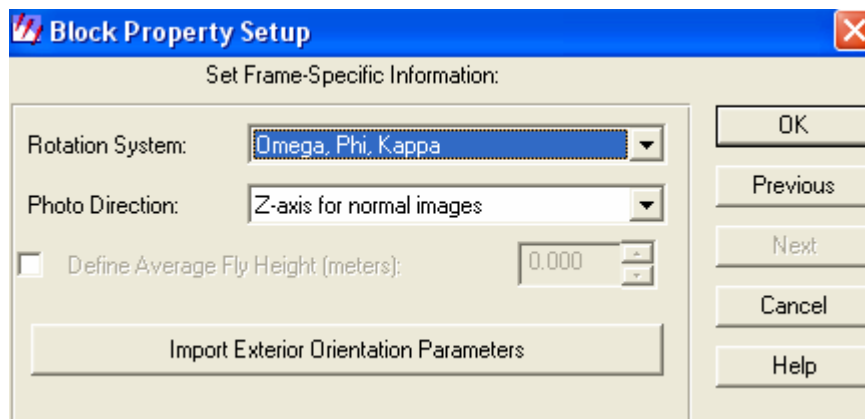


Figura 13. Ventana en la cual se define el sistema de rotación, la dirección de la foto y el promedio de vuelo para la ortorectificación de las fotografías en el programa Erdas Imagine 8.5

- Una vez establecidos todos los parámetros anteriores se agregaron las fotografías que se querían ortorectificar de manera ordenada de izquierda a derecha, con el fin de facilitar el proceso de ubicación de puntos en común o “tie points”.
- Se utilizó el comando “Add Frame”, disponible en el menú Edit de la ventana principal de Orthobase para agregar las fotos.

- En la Figura 14 se puede observar la ventana principal de Orthobase que indica que las fotos fueron agregadas de manera correcta.

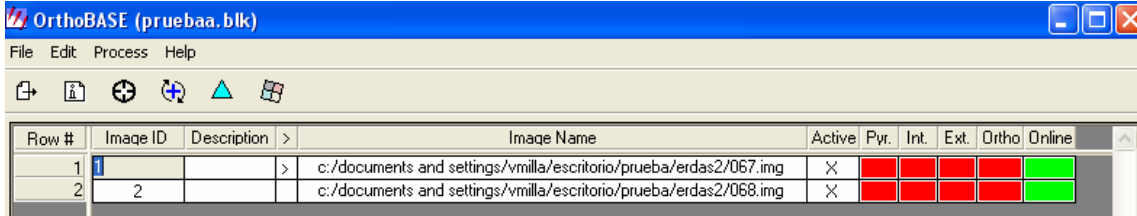


Figura 14. Ventana principal de Orthobase en la que se muestra con color verde el estado “Online” demostrando así que se han agregado las fotografías que se van a ortorectificar.

- Una vez terminado ese proceso se pudo proceder a definir los parámetros de las fotografías.

Paso 5. Definición de diferentes parámetros de las fotografías

- Se seleccionaron las fotos agregadas y en el menú Edit de la ventana principal de Orthobase se seleccionó el comando “Compute pyramid layers” y la opción “All selected images” (Figura 15).

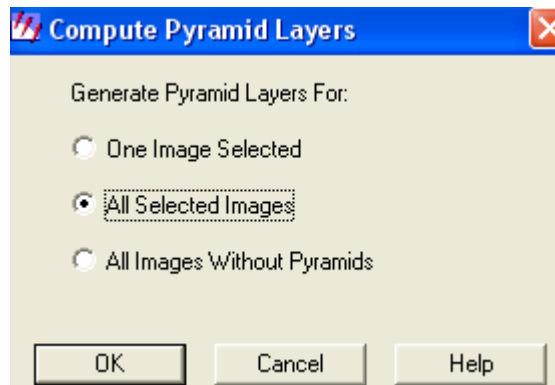


Figura 15. Ventana en la cual se calcula las capas de la pirámide de las fotografías a ortorectificar en el menú Edit de Erdas Imagine 8.5.

- Una vez completado ese proceso se verificó que se haya realizado de la manera correcta en la ventana principal de Orthobase (ver Figura 16).

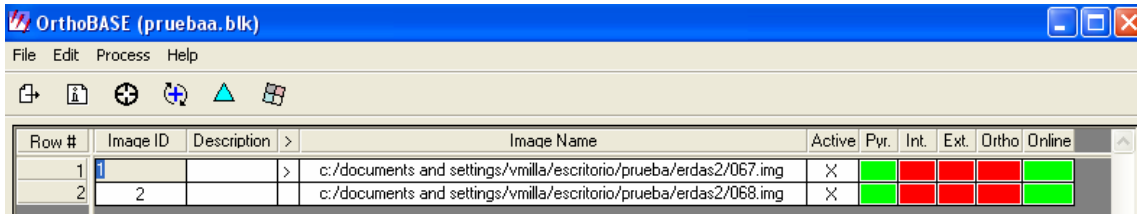


Figura 16. Ventana principal de Orthobase en la que se muestra con color verde que el proceso “Online” y “Pyr” ha sido completado.

- En la pestaña “Sensor” (Figura 17) del “Frame Editor” (disponible en el menú Edit), se determinó el diámetro del lente. Con el botón “New” se pudo introducir los valores de la cámara (información recopilada anteriormente). Cabe mencionar que si por alguna razón la ubicación de las imágenes fuese cambiada, en esta pestaña se puede asignar la nueva ubicación con el botón “Attach”.

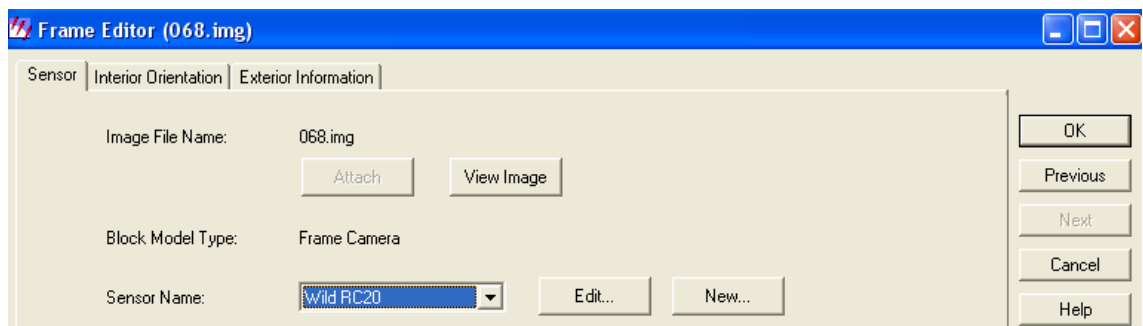


Figura 17. Pestaña “Sensor” en la cual se define el diámetro de la lente de la cámara utilizada.

- Al presionar el botón “New” se abrió la ventana “Camera Information” en donde se estableció la información de la cámara, como se puede observar en la Figura 18.

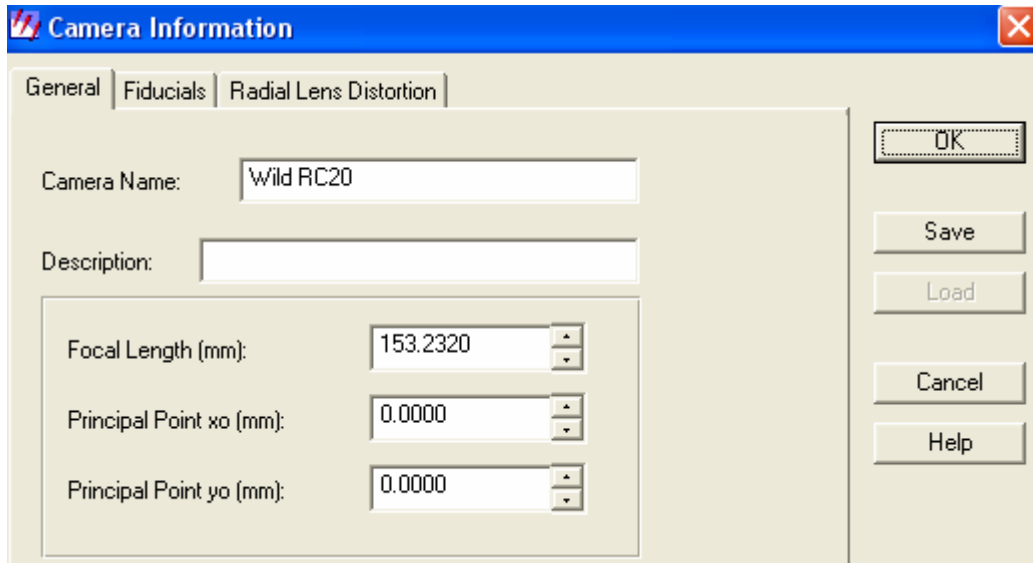


Figura 18. Ventana en la cual se define la información de la cámara.

- Esa información se guardó en un archivo (con el botón “Save”), así se pudo utilizar la misma información cada vez que se ortorectificó una foto de 1992 con el botón “Load”.
- Se verificó que en la pestaña “Fiducials” de la ventana “Camera Information” estuviese correcto el número de marcas fiduciales y en la pestaña “Interior Orientation” (Figura 19) del “Frame editor” se ingresó los puntos donde se encuentra las marcas fiduciales de las fotografías.

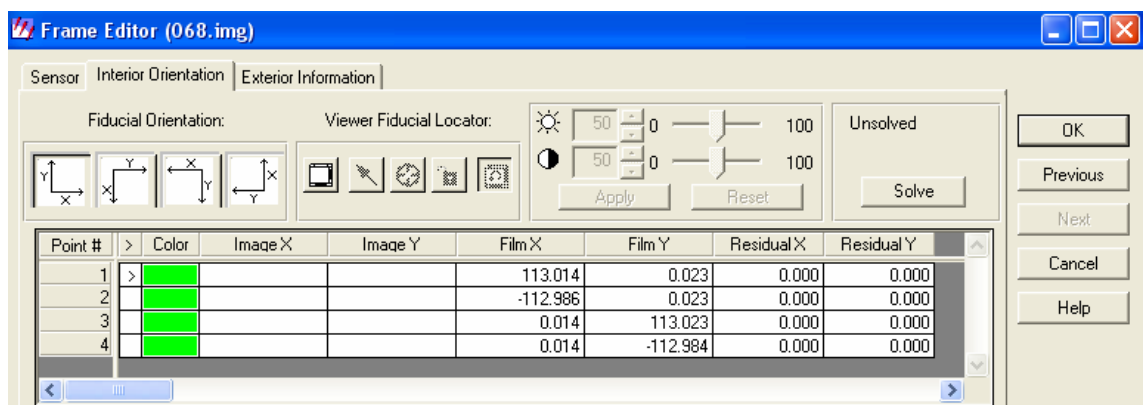


Figura 19. Pestaña “Interior Orientation” en la cual se define la orientación interna de la fotografía.

- Se pulsó el botón “Open viewer for image fiducial measurement” (📏), inmediatamente se abrió una ventana para ubicar las marcas fiduciales como se muestra en la Figura 20.

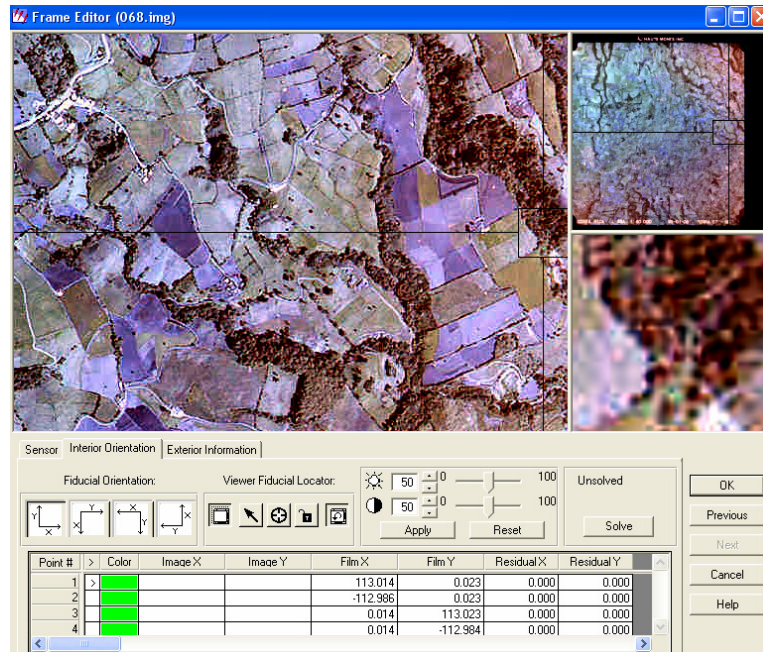


Figura 20. Ventana en la cual se ubican las marcas fiduciales en el orden correspondiente.

De acuerdo con la información proporcionada por el IGN, en el caso de las fotografías aéreas de la misión DMA de 1992 la orientación de las marcas fiduciales es la primera, por lo tanto se respetó ese orden (Figura 21).

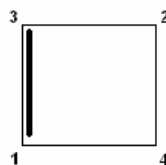


Figura 21. Orientación de las marcas fiduciales para las fotografías aéreas de 1992.

- Al pulsar el botón “Place image fiducial” (📏) el cursor se convirtió en una cruz y entonces se hizo clic en el centro de la primera marca fiducial, es decir la que se encuentra en la esquina inferior izquierda.

Cabe mencionar que al tener presionado el botón “Set automatic move” (📷) el programa encontró la próxima marca fiducial. Este procedimiento se repitió hasta completar todas las marcas fiduciales de ambas fotos (se cambió de una foto a otra con los botones “Next” y “Previous”).

- Al final el programa calculó el error, el cual no superó la mitad de la resolución del escaneado de acuerdo a la recomendación de Caimel (2002).
- En la pestaña “Exterior Information”, del “Frame editor” donde se establecen los valores de perspectiva de la cámara y el ángulo de rotación de la misma, se eligió el estatus “Unknown” para que el programa lo calculara (Figura 22).

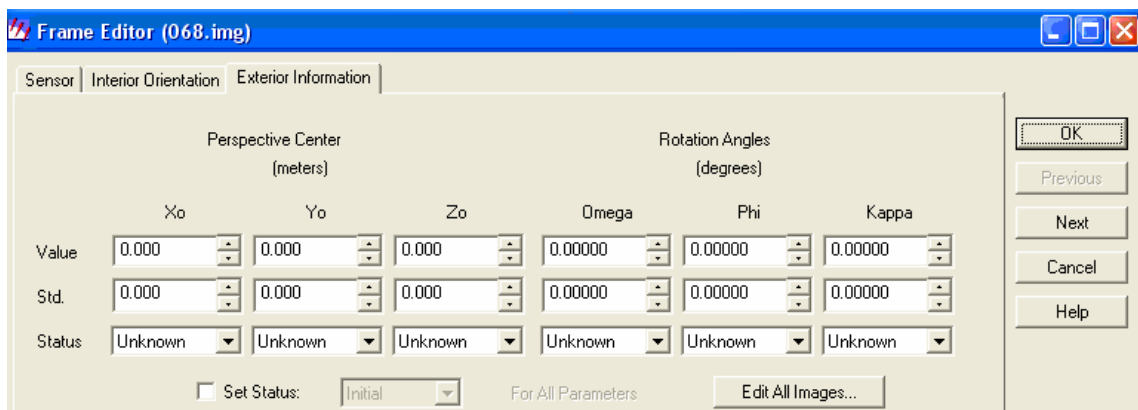


Figura 22. Pestaña “Exterior Information” en la cual se define la información exterior de las fotografías.

- Luego se verificó que los parámetros para ambas fotografías estuviese correcto con los botones “Next” y “Previous” y se pulsó el botón OK.
- Finalmente se verificó que en la ventana principal de OrthoBase el proceso se hubiese completado exitosamente, como se muestra en la Figura 23.

Row #	Image ID	Description	Image Name	Active	Pyr.	Int.	Ext.	Ortho	Online
1	1		c:/documents and settings/vmilla/escritorio/prueba/erdas2/067.img	X	Green	Green	Red	Red	Green
2	2		c:/documents and settings/vmilla/escritorio/prueba/erdas2/068.img	X	Green	Green	Red	Red	Green

Figura 23. Ventana principal de Orthobase en la cual se muestra con color verde que los procesos “Online”, Pyr.” e “Int.” han sido completados.

- Al finalizar correctamente el proceso se pudo continuar con el ingreso de puntos de control.

Paso 6. Ingreso de puntos de control

Para ingresar los puntos de control, en la ventana principal de OrthoBASE, en el menú Edit, se seleccionó el comando “Point measurement” con lo cual se abrió la ventana que se muestra en la Figura 24 y se procedió de la siguiente forma:

- Se hizo clic en el botón “Add” para poder ingresar un punto de referencia y se determinó el tipo o “type” como “full” (debido a que se cuenta con la información de las coordenadas y la elevación) y luego se definió “usage” como punto de control.
- Todas las ventanas se pudieron rotar haciendo clic derecho y seleccionando el comando “Rotate”. Esto fue muy útil pues facilitó el trabajo de ubicación de puntos en la foto.
- Luego de ubicar el primer punto se marcó éste en la foto, con el botón “Create point” seleccionado.
- Después se especificaron las coordenadas “x” y “y” obtenidas anteriormente en el paso 3, las cuales se pudieron copiar fácilmente con “ctrl. + c” y pegar con “ctrl. v”.

- No sólo se copiaron las coordenadas Lambert Norte (ubicadas en las columnas “X Reference” y “Y Reference”) de los puntos sino también las coordenadas de la fotografía (en las columnas “X File” y “Y File”) con la única diferencia que se colocaron los valores **positivos**.
- Por su parte, el valor de la elevación (z) se obtuvo del MED. Para observar el valor correspondiente se realiza una identificación con la opción “Identify” en Arc View para cada punto de control.

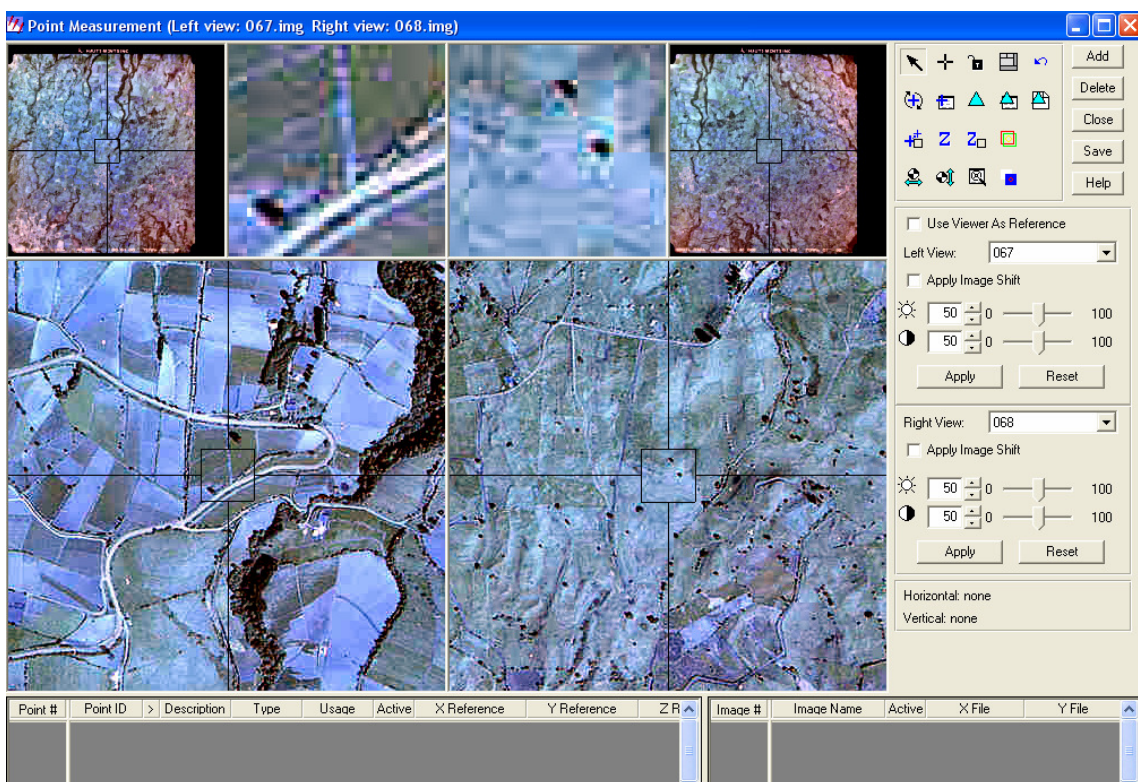





Figura 24. Ventana en la cual se establecen los puntos de control con sus respectivas coordenadas y elevación.

- Es importante mencionar que algunos de los “tie points” fueron calculados por el programa.
- Con el botón “Automatic tie properties” () se determinaron las propiedades tales como las imágenes a utilizar, cantidad de capas de las imágenes y la cantidad de puntos que se desea obtener.

- Luego se hizo correr el proceso de colocación de los “tie points” (). Cabe aclarar que si el programa no calcula ningún punto tal vez sea necesario colocar 6 puntos tie manualmente y luego solicitar nuevamente al programa que los calcule.
- Una vez que el programa colocó los puntos tie, se verificó la correcta ubicación en ambas fotos.

Paso 7. Definición de las propiedades de triangulación

Se definieron la propiedades de triangulación pulsando el botón “Triangulation properties” del menú Edit de la ventana principal de Orthobase o bien pulsando el ícono () de la ventana de “Point Measurement”.

- En la pestaña “General” se habilitó la opción “Compute Accuracy for Unknowns” (ver Figura 25).

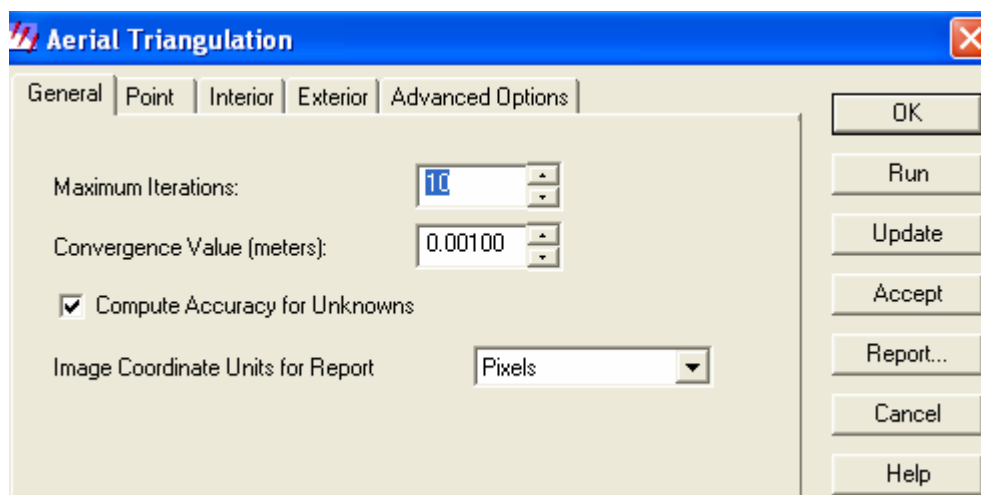


Figura 25. Pestaña “General” de las propiedades de triangulación en la cual se deben definir varios parámetros.

- En la pestaña “Point” se verificó que los parámetros seleccionados fueran los mismos que los que se muestran en la Figura 26.

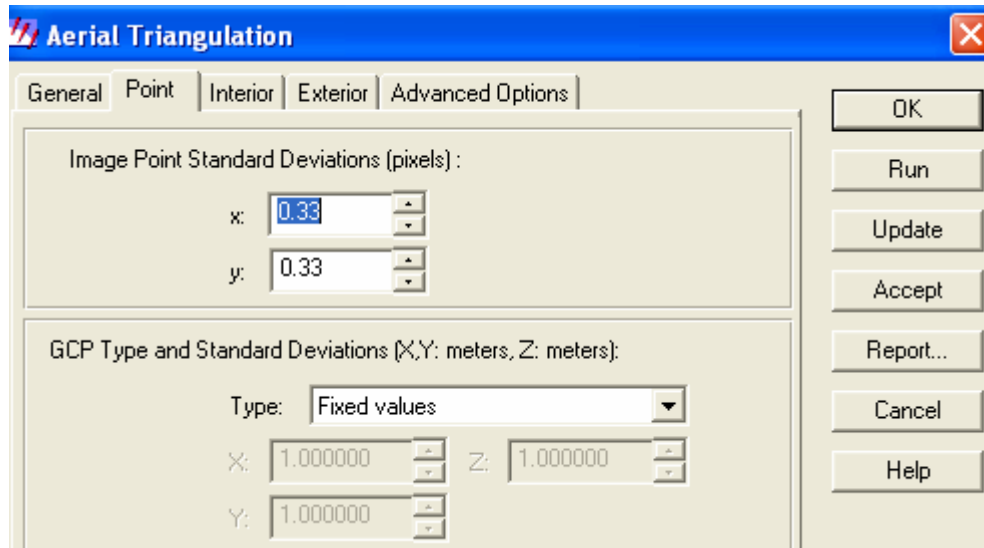


Figura 26. Pestaña “Point” de las propiedades de triangulación en la cual se definen ciertos parámetros.

- En la pestaña “Interior” se comprobó que el tipo fuera “Fixed for all images” (Figura 27).

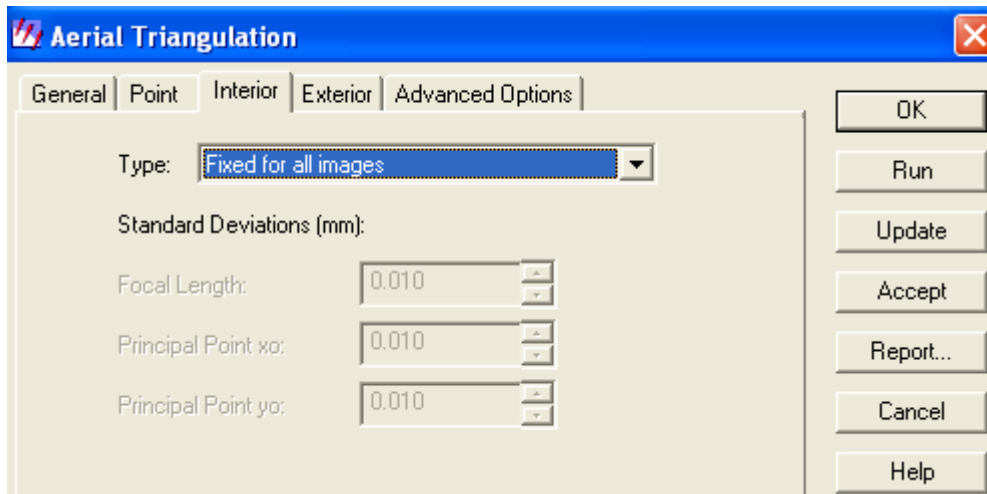


Figura 27. Pestaña “Interior” de las propiedades de triangulación en la cual se define “Fixed for all images”.

- En la pestaña “Exterior” se confirmó que el tipo estuviese definido “No weight”, como se muestra en la Figura 28.

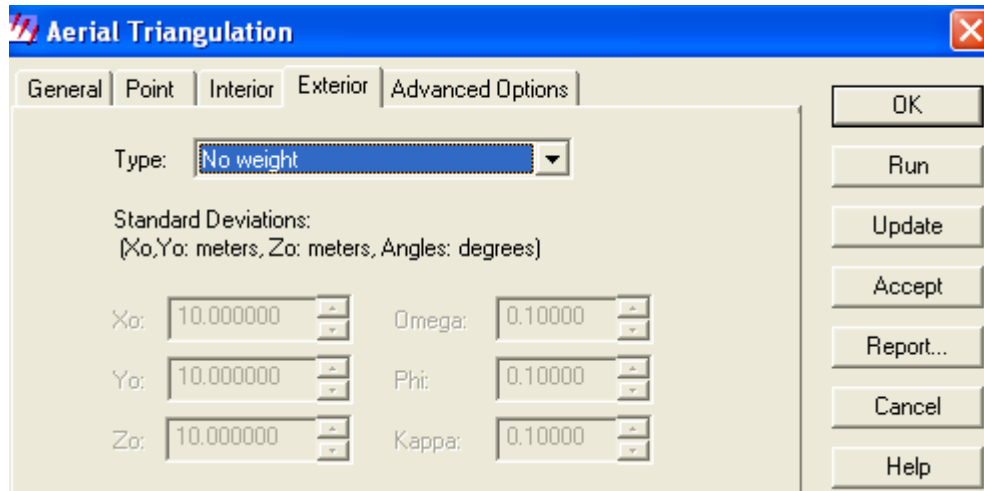


Figura 28. Pestaña “Exterior” de las propiedades de triangulación.

- En la pestaña “Advances options” se verificó que los parámetros fueran iguales a los que se muestran en la Figura 29.

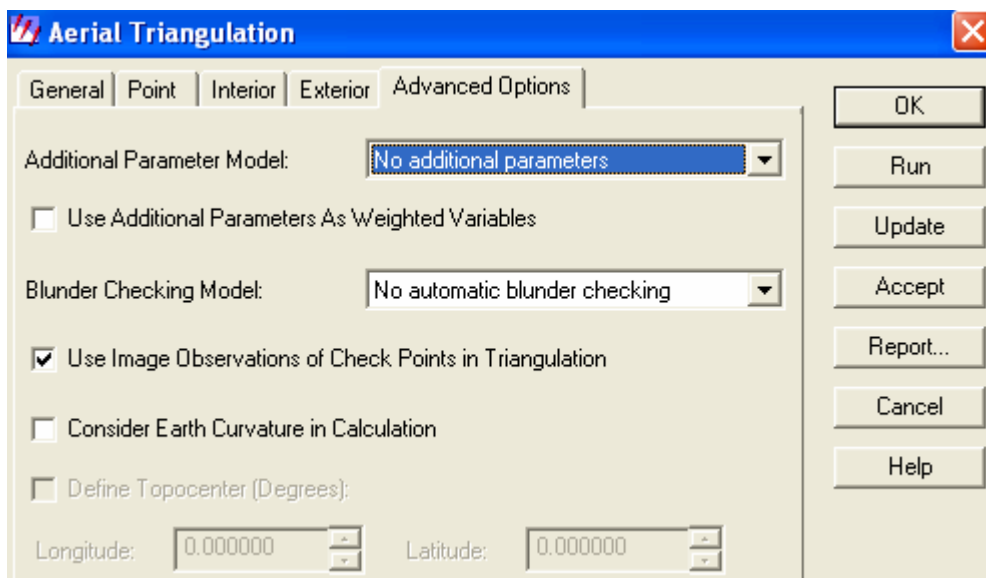


Figura 29. Pestaña “Advanced options” de las propiedades de triangulación.

- Finalmente se pulsó los botones “Update”/“Run”/“Accept” para que el programa realizara la triangulación y se obtuviese un resumen de ese proceso (Figura 30).

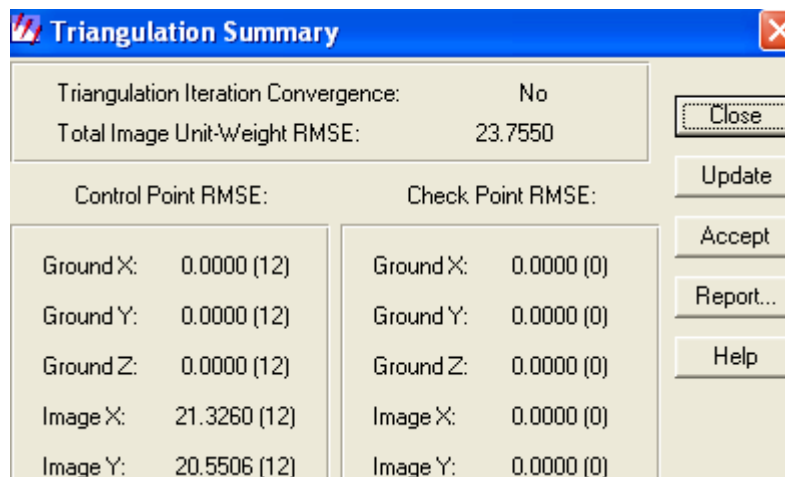


Figura 30. Ventana en la cual se muestra el resumen de la triangulación.

- Una vez que se verificó que el error no fuera muy alto, se cerró el resumen y se pulsó el botón OK de la ventana de las propiedades de triangulación.
- Posteriormente se comprobó que en la ventana principal de Orthobase proceso “Ext.” se hubiera completado correctamente como se muestra en la Figura 31.

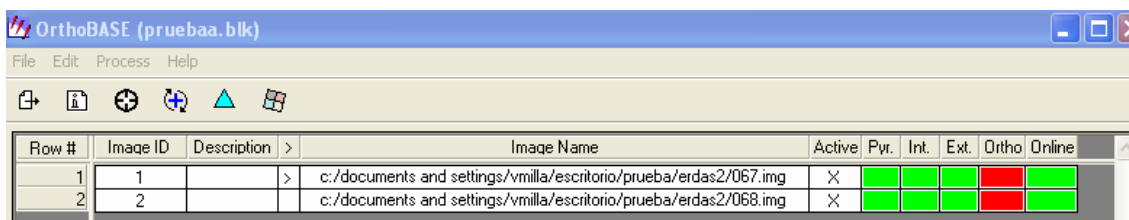



Figura 31. Ventana principal de OrthoBase en la cual se muestra con color verde que los procesos “Online”, “Pyr.”, “Int.” y “Ext.” han sido completados

- Cuando se terminó el proceso correctamente se pudo proceder a generar la ortofoto.

Paso 8. Generación de la ortofoto.

Para generar la ortofoto se pulsó el botón “Ortho Resampling” () disponible en la ventana principal de OrthoBASE.

- En la ventana “Ortho Resampling” se especificó, de acuerdo con cada situación particular, si se quería ortorectificar una imagen (Single Output) o ambas (Multiple Output), la ubicación del Modelo de Elevación Digital (o el recorte del MED hecho previamente) y el método que iba a utilizar (Figura 32).

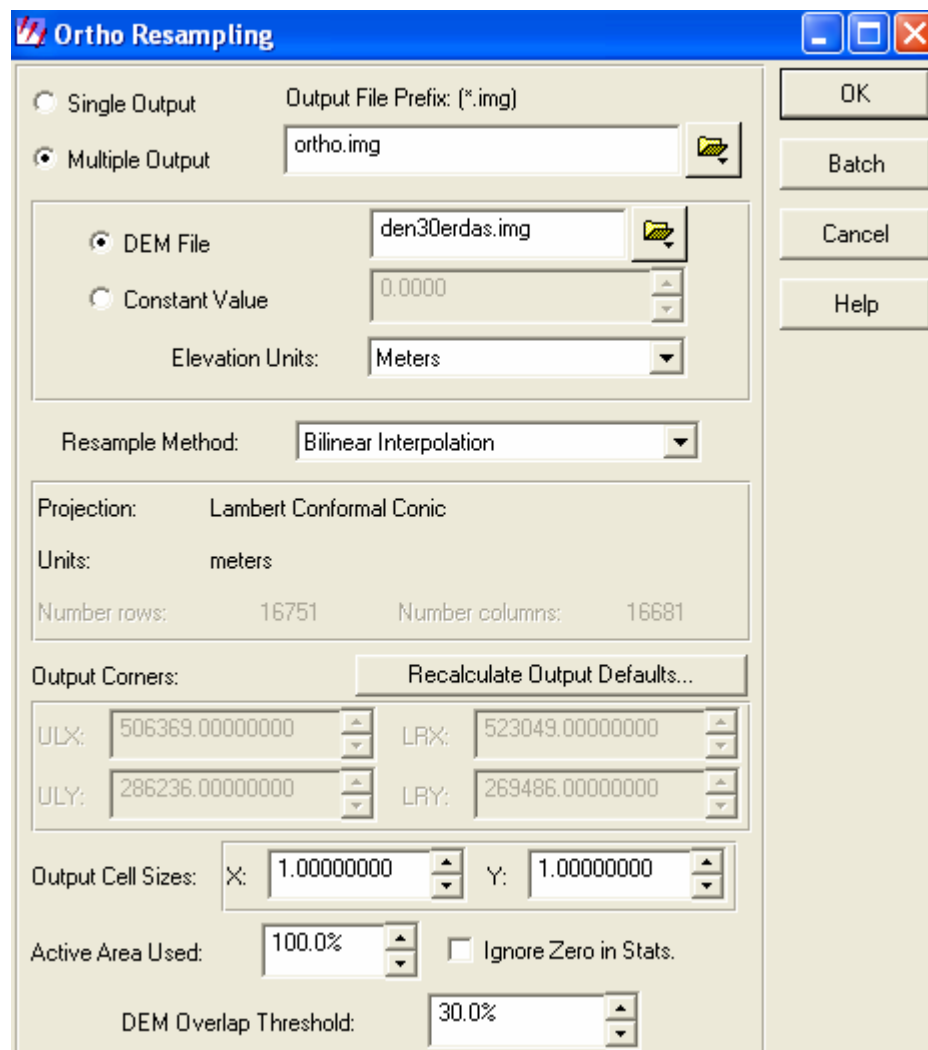


Figura 32. Ventana “Ortho Resampling” en la cual se definen los parámetros finales para crear la ortoimagen.

- Una vez establecidos los parámetros se pulsó la tecla “OK” para que el programa hiciera la ortorectificación y mostrara el avance del proceso en una ventana (ver Figura 33).

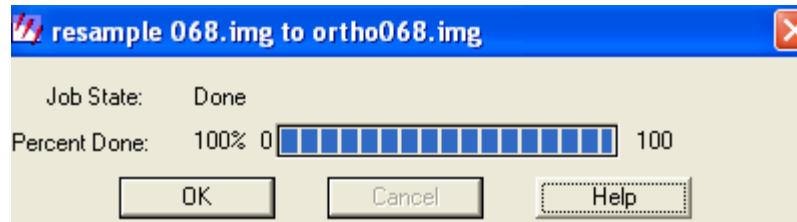


Figura 33. Ventana que muestra el progreso del proceso de ortorectificación para las fotografías seleccionadas.

- Finalmente, como se muestra en la Figura 34, se verificó que el proceso de “Ortho” se hubiese completado exitosamente en la ventana principal de Orthobase

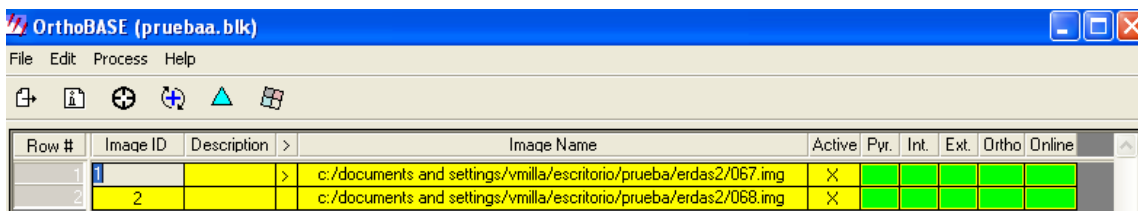


Figura 34. Ventana principal Orthobase en la cual se muestra con color verde que todos los procesos han sido completados.

Las ortofotos creadas se abrieron en Arc View para comprobar que todo el procedimiento descrito anteriormente hubiese dado como resultado una imagen sin ninguna deformación.

Ortorectificación de las fotografías aéreas del 2005 con cámara digital.

Paso 1. Conversión de imágenes en formato *.img

Se realizó el mismo procedimiento descrito en el paso 1 de la ortorectificación de fotografías de 1992.

Paso 2. Selección de fotografías a ortorectificar .

La selección de las fotos se realizó con ArcView 3.2 y el recorte del MED con el programa Erdas Imagine 8.5, se realizó el siguiente procedimiento:

- En el programa ArcView 3.2 se abrieron los shapes que correspondían a los polígonos de cada fotografía.
- Se seleccionaron dos polígonos de las fotografías consecutivas realizando para ello una búsqueda de aquellas que se iban a utilizar, con el comando Query Builder.
- La comprobación de la calidad de las fotografías se hizo en Arc View 3.2 al cargarlas en una vista con la extensión Image Analysis.
- Se dibujó un polígono que cubriera efectivamente el área de las fotografías y se convirtió a un archivo AOI con el fin de cortar el MED. El procedimiento para hacerlo fue descrito anteriormente en el paso 2 de la ortorectificación de fotografías de 1992.

Paso 3. Obtención de coordenadas de los puntos de control.

Se realizó el mismo procedimiento descrito en el paso 3 de la ortorectificación de fotografías aéreas de 1992.

Paso 4. Inicio del proceso de ortorectificación

Se realizó un procedimiento muy similar al descrito en el paso 4 de la ortorectificación de fotografías aéreas de 1992, la diferencia fue el tipo de cámara, pues en este caso en lugar de “Frame Camera” se utiliza “Digital”. Además, en el caso de las fotos del 2005 la información de altitud del vuelo se encontró disponible en el archivo shape de polígonos de ubicación de las fotos.

Paso 5. Definición de diferentes parámetros de las fotografías

- Una vez cargadas las fotos se seleccionaron y en el menú Edit de la ventana principal de Orthobase se seleccionó el comando “Compute pyramid layers” y la opción “All selected images” (Figura 14).
- Luego, se verificó que la operación se hubiera completado correctamente, en la ventana principal de Orthobase.
- En el menú Edit se seleccionó el comando “Frame editor”. Cabe destacar que, al igual que las fotos de 1992, se deben establecer los parámetros para cada fotografía, al hacer clic en el botón “Next” y “Previous” se puede cambiar de una fotografía a la otra.
- En la pestaña “Sensor”, en la opción “Sensor Name”, se pulsó el botón “New” para establecer los parámetros de la cámara utilizada en la misión Carta 2005 y se guardó la información en un archivo para poder usarlos nuevamente en otra oportunidad.
- En la pestaña “Interior Orientation” el tamaño del píxel en “x” y “y” se digitó 9.00 (microns).
- En la pestaña “Exterior Information” se especificó el status “Unknown”.
- Finalmente se pulsó el botón OK y se verificó en la ventana principal de Orthobase que el proceso “Int.” se hubiese completado correctamente.

Paso 6. Definición de propiedades para la triangulación.

Para definir las propiedades de triangulación se seleccionó el comando “Triangulation Properties”, disponible en el menú Edit.

Los parámetros utilizados fueron:

- Pestaña General:
 - Maximum Iterations: 10.
 - Covergence values (meters): 0.00100.
 - Image coordinate units for report: Pixels.

- Pestaña Point:
 - Image point standard deviations: X = 0.33, Y = 0.33
 - GCP Type and Standard deviations Type: Fixed Values.

- Pestaña Interior.
 - Type: Fixed for all images.

- Pestaña Exterior
 - Type: No weight.

- Pestaña Advanced options
 - Additional Parameter Model: Non additional parameters.
 - Blunder checking Model: No automatic blunder checking.
 - Se habilitó la opción: Use image Observations of check points in triangulation.

Paso 7. Ingreso de puntos de control.

En el menú Edit de la ventana OrthoBASE se seleccionó el comando “Point Measurement” y se procedió de manera similar a lo descrito anteriormente en el paso 6 de la ortorectificación de fotos de 1992.

Paso 8. Triangulación.

Una vez introducidos los puntos de control y los puntos tie se pudo realizar la triangulación.

Paso 9. Generación de la ortofoto.

Para elaborar la o las ortofotos se procedió de la siguiente manera:

- Se seleccionó “Single Output” (para ortorectificar una foto) o “Multiple Output” (para ortorectificar las dos fotos) dependiendo de cada situación particular.
- Luego, se escogió el “DEM File” y se especificó la ubicación del archivo del Modelo de Elevación Digital. Las unidades de elevación (“Elevation units”) se establecieron en el sistema métrico.
- Después, se seleccionó el método “Bilinear Interpolation”.
- Finalmente, se eligió 1 para el tamaño de las celdas “Output cell size”.

Ortorectificación de fotografías con el archivo shape de la misión Carta 2005

Algunas fotografías del 2005 no pudieron ser ortorectificadas con la información de las hojas cartográficas, debido a que no existían puntos identificables y no fue posible realizar visitas de campo a esas áreas; por lo tanto se tuvo que recurrir a utilizar la información del tema de polígonos de las fotografías carta 2005.

En el programa Arc View se cargó el tema de polígonos de las fotografías carta 2005 y se cargaron las extensiones “Mila Utilities 3.1”, “Poly conversión to spaced points” y “X tools”.

Con el comando “Convert to points” disponible en el menú Theme (al cargar la extensión “Poly conversión to spaced points”) se especifica que se desea obtener los puntos de los vértices de los polígonos y el programa crea el tema con esa información. Con el comando “Convert shapes to centroids” disponible en el menú X Tools (al cargar esa extensión) se crea un archivo de puntos que corresponde

al centro de cada fotografía. Una vez obtenidas las 4 esquinas de las fotos y el centro de las mismas se agrega la información de las coordenadas de cada una con el comando “Add x/y coordinate” disponible en el menú Mila Utilities (al cargar esa extensión).

Luego, se cargó la fotografía que se quería ortorectificar en una vista de Erdas Imagine 8.5, esta se rotó de manera que tuviera la orientación correcta de acuerdo a las características del terreno observadas en las hojas cartográficas digitales georeferenciadas escala 1:50 000. Posteriormente con el comando “layer info” disponible en el menú Utility se pudo saber la ubicación exacta de las esquinas de la foto y con esa información se puede calcular fácilmente el centro de la misma. Así fue como se pudo saber con gran precisión la localización de los puntos “X file” y “Y file”.

Visitas de campo

Se realizaron 4 giras de campo con el principal objetivo de tomar puntos que fueran fácilmente identificables en las fotografías para poder ortorectificar aquellas con información insuficiente en las hojas cartográficas. Además, se recolectó información del uso de la tierra en algunas partes y así comprobar el aspecto en las fotos aéreas.

También se tomaron puntos de esquinas de algunas de las fincas que presentaban problemas de traslape, sin embargo fue posible georeferenciar tan solo 3 fincas (2 de Buffers y 1 de Vecinos).

Georeferenciación de fincas

El primer paso fue buscar los planos catastrados de las fincas que se iban a georeferenciar, luego se procedió a digitar el derrotero de las fincas en una hoja

de Excel, diseñada para obtener las coordenadas de cada vértice, a la cual se le agregó la información recopilada en el campo.

La información de las coordenadas de cada vértice se guardó como .dbf y se agregó como tabla en Arc View.

Luego, con el comando “Add Event Theme” disponible en menú View se agregó a una vista del programa los vértices de la finca, y con el comando “Make One Polygon from Points” disponible en el menú X tools (extensión X tools) se obtuvo el shape del polígono de la finca. Finalmente se guardó el polígono creado con el comando “Convert to shape file” disponible en menú Theme.

Fotointerpretación

Una vez finalizado el proceso de ortorectificación se cargaron los polígonos con las fincas bajo estudio sobre las ortofotos en una vista de Arc View 3.2 y se procedió a digitar en pantalla los diferentes usos de la tierra en cada una de las fincas, para lo cual fue necesario hacer editables los polígonos de las fincas con el comando Start Editing disponible en el menú Theme. Al hacer esto, estuvo disponible la opción para digitar nuevos polígonos o cortar los existentes.

En una nueva columna se agregó la información de la categoría de uso digitada para cada sección de finca. En el caso de las fotografías de 1992 (escala 1:60 000) se trabajó a una escala de 1:5 000 y para las fotografías del 2005 (escala 1:25 000) se utilizó una escala de 1:2 000.

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.

La siguiente es la clasificación utilizada para las fotografías aéreas²:

1. Uso Forestal

Reforestación = Plantaciones forestales

Bosque Natural = Bosque secundario, bosque intervenido y no intervenido.

2. Uso No Forestal

Cultivos agrícolas = Cultivos de piña, plantas ornamentales, palma, etc.

Potreros = Pastos con o sin árboles.

Zonas urbanas = Áreas cubiertas de construcciones realizadas por el hombre.

3. Otros = Áreas que no pudieron ser clasificadas debido a la falta de cobertura de fotografías aéreas o por la presencia de nubes y sombras.

En el caso de las fincas que no tenían cobertura para las fotografías aéreas de la cámara DSC 2005 y aquellas áreas de fincas cubiertas por nubes y/o sombras se asignó la clasificación de uso de los mapas generados por el Centro Nacional de Alta Tecnología, *et al.* (2007) a partir de la imagen multiespectral Master de las Áreas de Conservación Cordillera Volcánica Central (ACCVC) y Tortuguero (ACTO).

Por otro lado, para las fincas que no fueron cubiertas con las fotografías aéreas de 1992 se procedió a realizar la clasificación de una imagen satelital Landsat 5 georeferenciada de 1992.

Clasificación supervisada de imágenes satelitales

Para determinar el uso del suelo en las fincas en el año 1986 se utilizó una imagen del satélite Landsat 5 de ese año de 30 x 30 metros ortorectificada que cubre toda el área del estudio. Cada banda de la misma se encontraba disponible

² En el caso de las imágenes satelitales se utilizó la misma clasificación

para la descarga gratuita en la página del departamento de Geografía de la Universidad Estatal de Michigan (Michigan State University)³

Las bandas de la ortoimagen de 1986 se encontraban en coordenadas UTM zona 16, por lo cual fue necesario cambiarla a la proyección Lambert Norte, para ello se utilizó el programa Arc Map con el comando Project Raster disponible en Arc Tool Box/Management Tools/Projections and Transformations/Raster. Esto se realizó para cada banda.

En una vista de Arc View (con la extensión Image Analysis) se cargaron las 7 bandas y se generaron imágenes falso color seleccionando tres bandas y accionando el comando "Stack images" disponible en el menú Image Analysis. Así se crearon imágenes falso color RGB 541 y RGB 453.

Cambio de uso y tasa de deforestación

Con la información del uso del suelo en los distintos años de las fincas bajo estudio, se calculó la tasa anual de deforestación para dichas áreas, así como la tasa de cambio anual neta. Para esto se realizó una operación de Intersect con las fincas analizadas en cada periodo (1986-1992 y 1992-2005).

Como existía un problema de traslape de planos de algunas fincas fue necesario realizar en Excel una operación que ayudara a verificar que las intersecciones correspondieran a la misma finca en diferentes años, una manera sencilla de comprobarlo fue con la fórmula "=IGUAL(Texto1;Texto2)" si ambos textos son iguales el programa dará el resultado "Verdadero" de lo contrario el resultado será "Falso".

Para determinar la tasa de deforestación anual, el programa calculó el área de uso forestal en todas las fincas, con el comando "Calculate Area, Perimeter,

³ ftp://cgceopush1.geo.msu.edu/push1_1/015/053/p015r53_5t860206/

Lenght, Acres, Hectares” en el menú XTools disponible al cargar la extensión “Xtools”. Esta operación se realizó para los distintos años y para cada finca.

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

$$r = \left\{ \left[1 - \frac{A_1 - A_2}{A_1} \right]^{1/n} - 1 \right\} * 100$$

Donde:

r = tasa porcentual de deforestación anual.

n = número de años entre ambas fechas.

A₁ = Área bosque en la fecha inicial.

A₂ = Área de bosque en la fecha final.

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

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

Donde:

r = tasa porcentual de cambio anual.

n = número de años entre ambas fechas.

∑P = sumatoria de las áreas de la categoría analizada que cambiaron a diferente categoría.

∑G = sumatoria de otras coberturas que cambiaron a la categoría analizada.

A₁ = Área de la categoría analizada al comienzo del período.

Capacidad de uso

Para determinar la capacidad de uso de los suelos se realizó una intersección de las fincas con la información de uso en cada periodo y la capa de “capacidad de uso” proveniente del Atlas Digital 2004 (Ortiz, 2004), disponible en el Laboratorio de SIG de la EIFO del ITCR. Se debe aclarar que dicha capa está basada en la metodología oficial para determinar la capacidad de uso de la tierra.

La intersección se realizó con el comando “Intersect” disponible en el menú X-tools al cargar esa extensión en el programa Arc View 3.2.

Con el fin de conocer la relación entre capacidad de uso y el uso dado en las cuatro fincas se determinaron tres situaciones importantes: uso adecuado, sub utilización y sobre uso.

El uso adecuado fue considerado como aquellas áreas que tuvieron un uso acorde con la capacidad del suelo.

En el caso de la sub utilización del suelo se encontraron aquellas áreas dedicadas a bosque natural, cuya capacidad de uso de la tierra permitiera actividades agropecuarias o ganaderas. Se debe aclarar que en el caso de la categoría de capacidad de uso V (la cual permite el uso de la tierra para ganado o bosque natural) fue considerado como sub utilización de la tierra en aquellos casos en que estuvo bajo cobertura de bosque natural.

El sobre uso se consideró las áreas que se dedicaron a actividades agropecuarias o ganaderas cuya capacidad de uso de la tierra fuera exclusivamente bosque natural.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

El área total de las fincas según Arriagada (s.f.) era de 11 382,3 ha, sin embargo esto cambió debido a que el área de las tres fincas que fueron comprobadas en el campo se modificó producto de la digitación en pantalla del derrotero. En el Cuadro 6 se puede observar la diferencia del área de las fincas afectadas, Buffers y Vecinos.

Cuadro 6. Área inicial y final de las fincas bajo estudio.

Fincas	Cantidad	Área inicial (ha)	Área final (ha)	Diferencia (ha)
Buffers	36	2298,5	2295,2	3,3
Distritos	40	3153,0	3153,0	0,0
PSA	50	5142,4	5142,4	0,0
Vecinos	16	788,3	788,7	-0,4
Total	142	11382,2	11379,3	2,9

Se ortorectificaron 27 fotografías aéreas de 1992, de las cuales se utilizaron 24 para la fotointerpretación de uso de la tierra. En el Cuadro 7 se muestra la cantidad de tipo de fincas que cubrió cada ortofoto generada de 1992.

Cuadro 7. Cantidad de fincas cubiertas por fotografías aéreas de 1992

Fotografía	Cantidad de fincas			
	Buffers	Distritos	Vecinos	PSA
Dma RL38 7446	1	5	2	2
Dma R4L27c 8417	0	4	1	0
Dma R4L27c 8415	0	1	3	7
Dma R4L27c 8416	0	2	3	7
Dma R4L26c 8352	0	1	0	0
Dma R4L26c 8350	0	3	0	0
Dma R1L38 7437	0	1	0	0
Dma R1L38 7436	0	1	0	0
Dma R4L27c 8423	0	2	0	0
Dma R4L26c 8348	5	6	2	4
Dma R4L26c 8346	5	0	0	10
Dma R4L26c 8344	7	0	1	6
Dma R4L25D 8337	2	3	2	0
Dma R2L26a 7795	0	6	0	0
Dma R2L25b 7724	1	6	1	0
Dma R2L24 7690	5	2	1	5
Dma R2L24 7689	3	3	1	3
Dma R4L27b 8362	1	2	0	0
Dma R4L27B 8360	10	4	0	6
Dma R4L27B 8358	1	3	1	2
Dma R4L25d 8342	4	1	1	5
Dma R4L25d 8341	3	2	1	8
Dma R4L25d 8339	5	3	6	2
Dma R4L27c 8425	1	2	1	2
Total	54	63	27	69

Es necesario aclarar que algunas fincas estaban cubiertas por varias fotos, de esa manera, en las áreas donde se presentaban nubes o sombras se pudo determinar

el uso de la tierra interpretando la mejor foto. En el Anexo 1 se pueden observar la(s) hoja(s) cartográfica(s) que cubre cada ortofoto de 1992 generada.

Algunas fincas no fueron cubiertas por las fotografías aéreas de 1992 o fueron cubiertas solo en algunas áreas, para esos casos se utilizó la imagen satelital Landsat 5 georreferenciada de ese año. Las fincas Distritos y PSA fueron las más afectadas con 7 fincas sin cobertura de fotos, seguida por Buffers (3 fincas) y Vecinos (2 fincas).

Las fincas Buffers y PSA son las únicas que presentan cobertura parcial de fincas (4 y 1 respectivamente) por fotos.

En el caso de las fotografías aéreas del 2005 se ortorectificaron 93 en total, de las cuales cuatro sirvieron para fotointerpretar algunas secciones de fincas que no quedaron cubiertas en su totalidad por las fotos de la misión Carta 2005. En el Cuadro 8 se muestra la cantidad de fincas cubiertas en su totalidad de acuerdo a cada foto ortorecitificada.

Cuadro 8. Cantidad de fincas cubiertas por fotografías aéreas del 2005.

Fotografía	Cantidad de fincas			
	Buffers	Distritos	Vecinos	PSA
58555134				2
58891028		1		
58555146				1
58657606		1		
58657608		1	1	
58657609		1		
58412732				2
58412730				2
58412677	2			
58412675				2

Fotografía	Cantidad de fincas			
	Buffers	Distritos	Vecinos	PSA
58412673	1			
58412609	1			1
58412583	2			
58412612	1			
58412580	1			
58778872		1		
58778871		1		
58778870		2		
58637359		1		
58637393		3		
58412615	1			
58412617		1		
58412669	1			1
58412667	1			
58412666	2			
58412665	1			
58799115				2
58799116	1			2
58799117	2			
58778936		1		
58778935		1		
58799261		2		
5877992662		1		
58412620		1		
58412622		1		
58412624		2		
58412625		3		
58412626		1		
58412627			1	
58412629		1		1

Fotografía	Cantidad de fincas			
	Buffers	Distritos	Vecinos	PSA
58799270	1			
58799269				1
58412565			1	
58778941		1		
58637372		1		
58637379		1		
58799119		1		
58799120		1		
58697791	1	1		1
58697792	2	1		
58412660		1		
58839712				2
58799129	3			
58473362	2			
58473361	1		1	2
58473360				4
58697786				1
58799127				3
58799128				1
58412648		1		
58412649		1		
58555196	1	4		
58555195	1	3		
58412633	2			
58412636	1	1	1	6
58799275	2			
58799274	2		1	4
58799273		1	1	4
58799272	1			1
58778947	3			

Fotografía	Cantidad de fincas			
	Buffers	Distritos	Vecinos	PSA
58778948	1			
58778950		2		
58657531			1	2
58657530	1		2	1
58891018		1		
58493952		2		
58493965		1		
58493939		1		
58493894		1		
58412494		1		
58493789		1		
58493786		1		
58493733			1	
58493728			1	
58493858			1	2
58493856				6
58839800				1
58799121			1	
58697790				2
58697796	3			
Total	45	57	14	60

Para las fotos del 2005, también se dio el caso que más de una foto cubriera la misma finca, esto permitió que se pudiera escoger la mejor de ellas para determinar los usos de la tierra. En el Anexo 2 se muestra la(s) hoja(s) cartográfica(s) que cubre cada ortofoto del 2005 generada.

Las fincas que no fueron cubiertas por las fotos del 2005 fueron 3 de Buffers y 2 de Distritos. Hubo 3 fincas PSA que fueron cubiertas solo parcialmente por las

fotografías de la misión Carta 2005. Para esos casos se recurrió a los mapas generados por el CENAT *et al.* (2007)

Deforestación

En el Cuadro 9 se muestra la cobertura de bosque y no bosque para las fincas analizadas en los años 1986, 1992 y 2005.

Cuadro 9. Cobertura boscosa en los años 1986, 1992 y 2005 de las fincas bajo estudio.

Fincas	Uso de la tierra	1986		1992		2005	
		ha	%	ha	%	ha	%
Buffer	Bosque Natural	1804,6	78,6	1449,1	63,1	1313,0	57,2
	No Bosque	490,6	21,4	797,6	34,7	897,1	39,1
	Otros	0,0	0,0	48,5	2,1	85,1	3,7
	Total	2295,2	100,0	2295,2	100,0	2295,2	100,0
Distritos	Bosque Natural	1879,8	59,6	1345,4	42,7	1330,4	42,2
	No Bosque	1133,5	35,9	1584,2	50,2	1765,0	56,0
	Otros	139,7	4,4	223,4	7,1	57,7	1,8
	Total	3153,0	100,0	3153,0	100,0	3153,0	100,0
Vecinos	Bosque Natural	676,5	85,8	520,2	66,0	553,6	70,2
	No Bosque	99,4	12,6	203,7	25,8	234,8	29,8
	Otros	12,8	1,6	64,9	8,2	0,3	0,0
	Total	788,7	100,0	788,7	100,0	788,7	100,0
PSA	Bosque Natural	4873,8	94,8	4306,4	83,7	4843,2	94,2
	No Bosque	254,4	4,9	176,1	3,4	219,5	4,3
	Otros	14,2	0,3	659,8	12,8	79,6	1,5
	Total	5142,4	100,0	5142,4	100,0	5142,4	100,0

En el Cuadro 6 se observa una pérdida gradual de las áreas boscosas en las fincas “Buffers” y “Distritos”. La situación de deforestación parece ser más grave en las fincas “Buffers”, pues pasa de tener un 78,6% de cobertura boscosa en 1986 a 57,2% en el 2005.

Por otra parte, las fincas “PSA” y “Vecinos” se comportan de una manera similar, pues a pesar de que se observa una deforestación en el periodo 1986-1992 en el segundo (1992–2005) parece existir una recuperación en las áreas de bosque natural.

Los resultados obtenidos indican que existe una mayor presión en los bosques de las fincas Buffers y Distritos que en las de Vecinos y PSA.

La cobertura de bosque para las fincas bajo estudio se puede observar en la Figura 35 donde se representa gráficamente la cobertura porcentual de bosque presente en los años 1986, 1992 y 2005.

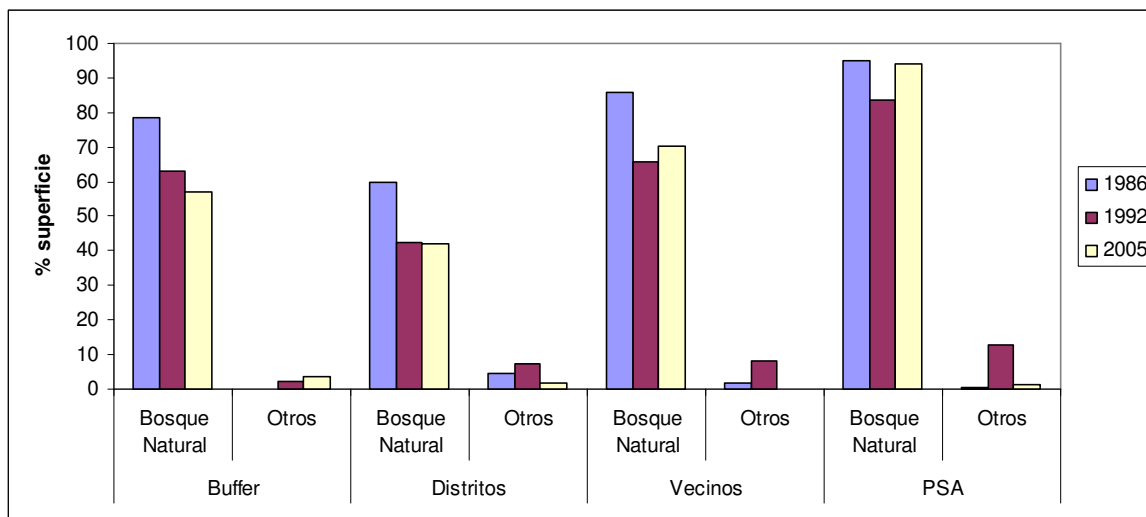


Figura 35. Porcentaje de la cobertura boscosa en las fincas analizadas para los años 1986,1992 y 2005.

La aparente recuperación del bosque natural en las fincas Vecinos y PSA es debido a que un porcentaje importante del área de cada una (8,2% y 12,8%,

respectivamente) fue clasificada como “otros”, es decir no se pudo conocer el uso de la tierra, en 1992.

Tasas de deforestación anual

Al observar la deforestación en ambas épocas (Figura 36), es evidente que la mayor deforestación se da en el primer periodo (1986-1992) para todas las fincas analizadas.

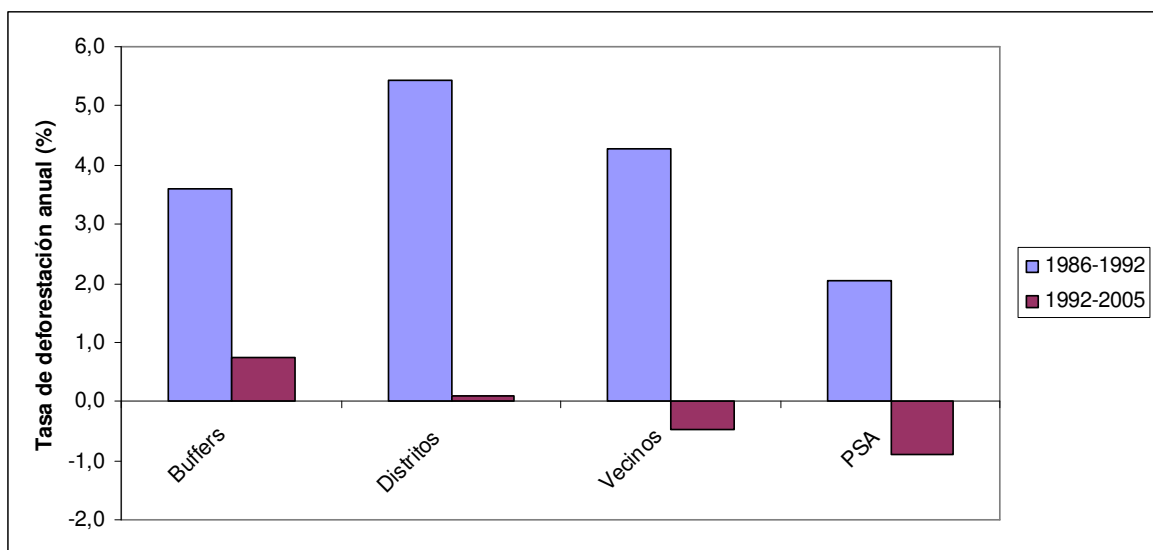


Figura 36. Tasa de deforestación anual en las fincas bajo estudio para los periodos 1986-1992 y 1992-2005.

En el periodo 1986-1992, las fincas Buffers (con una deforestación anual de 3,6%) y Vecinos (con una deforestación anual de 4,3%) tienen una tendencia similar a lo encontrado en un estudio realizado por Sánchez *et al* (2001) a nivel nacional, en el cual se estimó una tasa de deforestación anual de 4,2% en el periodo 1986-1992, por lo tanto estas fincas tienden a reflejar la situación que se estaba viviendo en esa época mientras que las fincas Distritos y PSA representan los dos extremos de la deforestación con tasas de anuales de deforestación de 5,4% y 2%, respectivamente.

No obstante para el segundo periodo de estudio (1992-2005) la situación cambia para todas las fincas pues las tasas de deforestación disminuyen drásticamente (todas son menores al 1%) e incluso se da un aparente proceso de recuperación del área de bosque para las fincas Vecinos y PSA.

En este segundo periodo, las fincas Buffers son las que presentan la mayor tasa de deforestación con un 0,8%, seguida por las fincas Distritos (0,1%). Este comportamiento fue similar al encontrado por Acevedo (2006 citado por Obando, *et al.*, 2006) quien asegura que el cambio en la cobertura boscosa sufrido en 1992-2005 a nivel nacional fue leve.

Si bien es cierto que las fincas Buffers fueron las que sufrieron la mayor tasa de deforestación en el segundo periodo (1992-2005), fueron mayores las pérdidas de bosque natural ocasionadas en el primer periodo (1986–1992), pues se perdieron 355,5 ha de bosque mientras que en el segundo se deforestaron 136,1 ha.

Se observa una aparente recuperación del bosque en el periodo 1992–2005. En el caso de las fincas Vecinos la tasa de recuperación anual fue de 0,5%, con esto se logró pasar de un 66% (1992) a un 70% (2005) de área cubierta por bosque natural. En el caso de las fincas PSA la tasa de recuperación anual fue casi el doble (0,9%) con lo cual se logró pasar de un 84% (1992) a un 94% (2005) de cobertura boscosa. Sin embargo, la aparente recuperación del bosque en estas fincas (Vecinos y PSA) es debido a la presencia de la categoría de uso “otros” en 1992, por lo que no se puede afirmar que existió una verdadera recuperación del bosque en el segundo periodo.

Cambio de uso en la tierra

Para poder explicar la deforestación ocurrida en las fincas en los diferentes años es necesario analizar el cambio de uso sufrido.

Las fincas fueron clasificadas en 6 clases de usos de la tierra distintos, a saber bosque natural, reforestación, cultivos, potreros, zonas urbanas y otros (incluye nubes, sombras y áreas en las que no fue posible realizar una clasificación debido a la falta de cobertura de las fotos).

La composición de las fincas se vio alterada en el tiempo, principalmente se observó que los bosques naturales tienden a transformarse a otras clases de uso. Para observar bien ese fenómeno se elaboraron gráficos con la información de usos del suelo, matrices de transición y se calculó la tasa de cambio anual neta para los dos periodos estudiados (1986-1992 y 1992-2005) en todas las fincas.

Usos del suelo

Se elaboraron gráficos en los que se muestra el uso de la tierra por año analizado para todos los tipos de fincas con el fin de poder visualizar de una manera más rápida la composición de las mismas a través del tiempo.

Es necesario insistir en que la categoría de uso “otros” se refiere a aquellas áreas en las que no se pudo determinar el verdadero uso debido a presencia de nubes, sombras o bien áreas que en las que no existía cobertura de fotografías aéreas.

Fincas Buffers

El uso del suelo en las fincas Buffers se puede observar en la Figura 37 para los tres años que comprende el presente estudio.

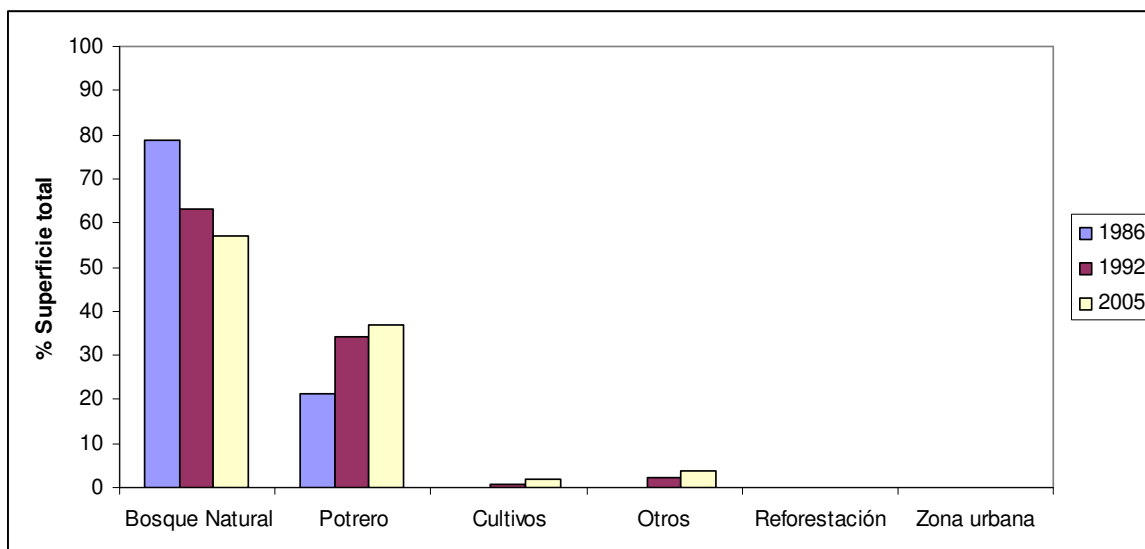


Figura 37. Uso de la tierra en diferentes años en el caso de las fincas Buffers.

En el caso de las fincas Buffers es claro que predomina el bosque natural en 1986, 1992 y el 2005 (1 804,6; 1 449,1 y 1 313,0 ha respectivamente) sin embargo se observa un cambio de uso gradual principalmente a potreros (488,7; 782,9 y 849,6 ha en 1986,1992 y 2005 respectivamente); por otra parte, el cambio de uso a cultivos, reforestación y zona urbana fue muy leve (2%, 0,05% y 0,01% respectivamente en el 2005). Por lo tanto, la deforestación en este tipo de fincas se debe, principalmente, al aumento en las áreas de potreros.

Fincas Distritos

Las categorías de uso del suelo en 1986, 1992 y el 2005 de las fincas Distritos se pueden observar en la Figura 38

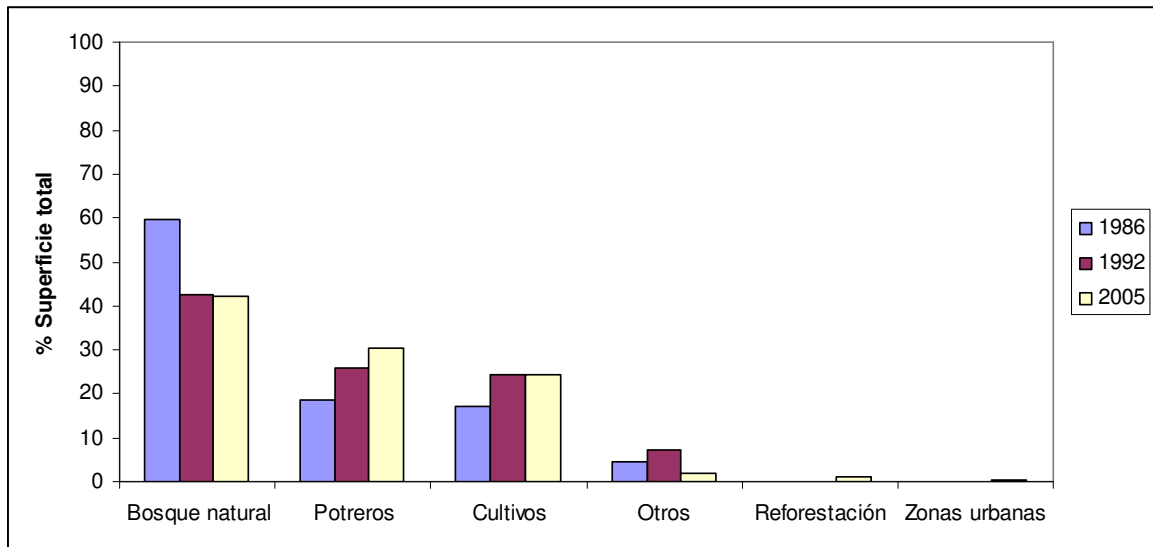


Figura 38. Uso de la tierra en diferentes años en el caso de las fincas Distritos.

En las fincas Distritos, al igual que las Buffers, se observa una predominancia de la cobertura boscosa sobre cualquier otra categoría de uso del suelo en los tres años. A diferencia de las fincas Buffers, en las fincas Distritos se puede apreciar un mayor uso de la tierra para los cultivos agrícolas, no obstante los potreros también se hacen presentes de una manera creciente a través del tiempo.

Fincas Vecinos

En la Figura 39 se observa el porcentaje de uso de la tierra en los años analizados de las fincas Vecinos del total de la superficie de las mismas.

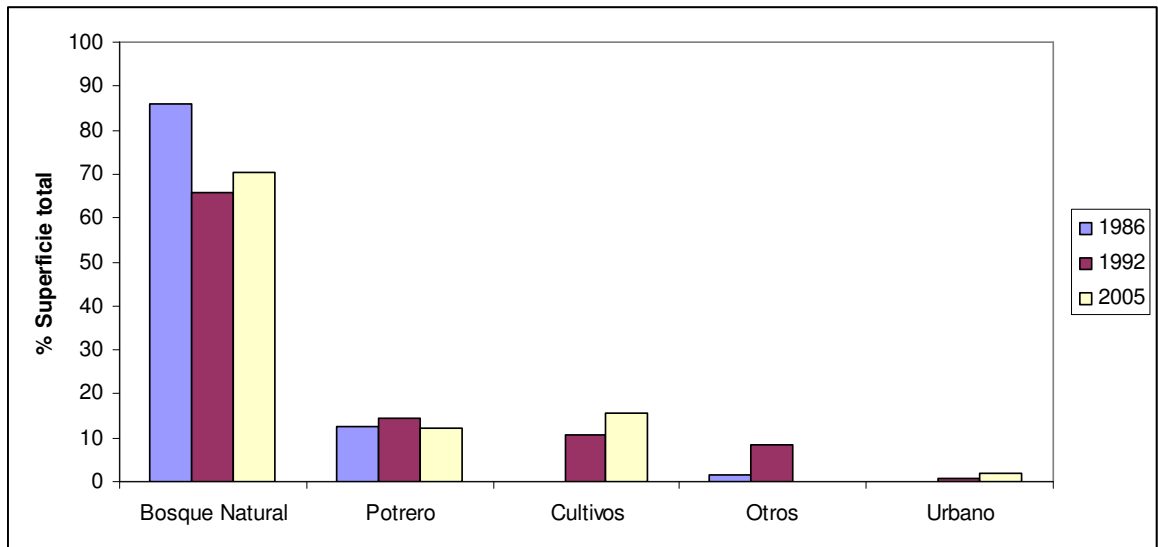


Figura 39. Uso de la tierra en diferentes años en el caso de las fincas Vecinos.

En los tres años considerados dentro del estudio, se encontró que las fincas Vecinos muestran una predominancia en la cobertura boscosa. Los cultivos agrícolas presentaron un aumento en su área, mientras que el área de potreros se vio disminuida.

Fincas PSA

El uso de la tierra de las fincas PSA en los tres años que contempla el estudio se puede observar en la Figura 40.

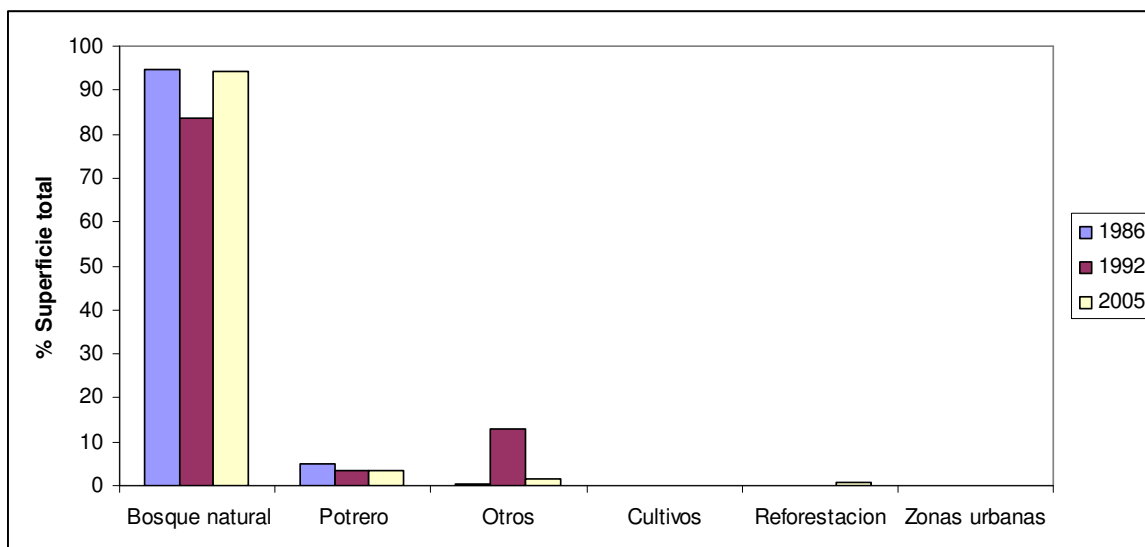


Figura 40. Uso de la tierra en diferentes años en el caso de las fincas PSA.

Se encontró que las fincas PSA muestran una predominancia en la cobertura boscosa. El área de cultivos agrícolas fue poco significativa (1,2 ha que representan 0,02% del área total de las fincas PSA), y las áreas de potrero tampoco sufrieron cambios significativos.

Cambios en el uso del suelo en el primer periodo (1986-1992)

Las tasas de deforestación en todas las fincas fueron mayores en este periodo que en el segundo, por lo tanto se podría esperar que los cambios en el primer periodo sean más fuertes que los ocurridos en el segundo.

Para conocer el comportamiento del cambio en el uso del suelo se calculó la tasa de cambio neta anual (Cuadro 10).

Cuadro 10. Tasa de cambio neta anual para el periodo 1986-1992 en las fincas bajo estudio.

Categorías de uso 1986	Buffers %	Distritos %	Vecinos %	PSA %
Bosque Natural	-3,6	-5,4	-4,3	-2,0
Cultivos	40,9	6,0	0,0	0,0
Potrero	8,2	5,5	2,4	-6,1
Otros	0,0	16,1	31,1	89,7

El uso de tierra que se vio afectado de manera negativa en ese periodo fue el bosque natural, y el que se vio favorecido principalmente fueron los potreros. Es importante resaltar que la tasa de cambio neta anual de 40,9% en cultivos agrícolas que se presenta en las fincas Buffers en realidad corresponde a una finca que pasó de tener menos de 2 hectáreas de cultivos en 1986, a tener un poco más de 14 hectáreas de cultivos para el año 1992.

En las fincas Buffers se observó una tasa de cambio neta anual mayor a favor del uso potreros (8,2%), seguida por Distritos (5,5%) y Vecinos (2,4%). En las fincas PSA se observa una tasa de cambio neta anual desfavorable para la cobertura de potreros y de bosque natural.

Cambios en el uso del suelo en el segundo periodo (1992-2005)

En este periodo se encontraron menores cambios en el uso del suelo, dado que las tasas de deforestación anual en todas las fincas fueron menores al 1% anual.

En el Cuadro 11 se presenta la tasa de cambio anual neta para todas las fincas analizadas.

Cuadro 11. Tasa de cambio neta anual para el periodo 1992-2005 en las fincas bajo estudio.

Categorías de uso 1992	Buffers %	Distritos %	Vecinos %	PSA %
Bosque Natural	-0,8	-0,1	0,5	0,9
Cultivos	9,2	0,0	3,1	22,1
Potrero	0,6	1,3	-1,4	0,0
Urbano	0,0	0,0	9,8	0,0
Otros	4,4	-12,3	-33,9	-15,0

En términos generales las tasas de cambio neta anual para este periodo son menores que las observadas en el periodo anterior.

El bosque natural se vio afectado negativamente para las fincas Buffers y Distritos, sin embargo es importante resaltar que la tasa de cambio neta anual fue muy baja (menor al 1%), lo cual concuerda con lo encontrado por Acevedo (2006 citado por Obando, *et al.*, 2006) a nivel nacional.

De acuerdo con Acevedo (2006 citado por Obando, *et al.*, 2006), en Costa Rica en el periodo 1992-2005 se dio un incremento considerable en el área dedicada a cultivos agrícolas, situación que también se observa en las fincas Buffers, Vecinos y PSA (Cuadro 11), mientras que en las fincas Distritos no se observaron cambios significativos.

Los potreros tendieron a crecer en las fincas Buffers y Distritos, mientras que en las fincas Vecinos se observó una disminución del área.

Matrices de transición primer periodo (1986-1992)

Las matrices de transición se elaboraron para cada tipo de finca con el fin de conocer en términos de hectáreas las categorías de uso en este período.

En todas las matrices de transición, los números resaltados en negrita indican las áreas que no sufrieron cambios en el uso del suelo en el periodo analizado.

Fincas Buffers

En el Cuadro 12 se muestra la matriz de transición entre categorías de coberturas entre 1986 y 1992 para las fincas Buffers.

Cuadro 12. Matriz de transición entre categorías de cobertura en las fincas Buffers entre 1986 y 1992.

Categorías de uso para 1986	Categorías de uso para 1992				Total 1986 ha
	Bosque Natural ha	Cultivos ha	Potrero ha	Otros ha	
Bosque Natural	1272,5	10,4	478,6	43,1	1804,6
Cultivos	0,0	1,9	0,0	0,0	1,9
Potrero	176,6	2,4	304,3	5,4	488,7
Total 1992 ha	1449,1	14,7	782,9	48,5	2295,2

El área de bosque sufrió cambios, sin embargo la mayor parte permaneció como bosque (70,5%). Esta categoría de uso representa la mayor parte del área de las fincas Buffers en ambas fechas.

En total se perdieron 355,5 ha de bosque, donde el principal cambio fue a potreros seguido por cultivos agrícolas (26,5% y 0,6% del bosque en 1986 respectivamente).

Los cultivos agrícolas permanecieron en su totalidad y tuvieron una ganancia de 12,8 ha, aunque la presencia de estos en ambas fechas sólo se registró en una de las fincas, por lo que se considera no es una categoría de uso muy utilizada en este tipo de fincas.

El área de potreros incrementó 294,2 ha. La mayor proporción de estas áreas permanecieron (62,3%), no obstante se registró un cambio considerable a bosque natural (36%), seguido por cultivos agrícolas (0,5% de los potreros en 1986).

Fincas Distritos

En el Cuadro 13 se muestra la matriz de transición entre categorías de coberturas entre 1986 y 1992 para las fincas Distritos.

Cuadro 13. Matriz de transición entre categorías de cobertura en las fincas Distritos entre 1986-1992.

Categorías de uso 1986	Categorías de uso 1992				Total 1986 ha
	Bosque Natural ha	Cultivos ha	Otros ha	Potrero ha	
Bosque Natural	1060,5	167,4	210,8	441,1	1879,8
Cultivos	20,5	509,8	3,1	8,8	542,2
Otros	121,7	0,0	0,0	18,0	139,7
Potrero	142,8	90,4	9,5	348,6	591,3
Total 1992 ha	1345,4	767,6	223,4	816,6	3153,0

Un 56,4% de las áreas de bosque natural permaneció en el primer periodo de tiempo, mientras que el área restante de esta categoría mostró cambios de uso significativos.

El área deforestada en las fincas fue de 534,4 ha, y se debió principalmente a un cambio de uso hacia potreros.

El área de cultivos agrícolas incrementó 225,4 ha. La mayor proporción de estas áreas permanecieron (94%), donde el principal cambio que sufrieron fue a bosque natural (3,8%) y a potreros (1,6%).

El área de potreros aumentó 225,3 ha, con una tendencia a permanecer en el tiempo. La principal transformación fue a bosque natural (24,2%) y cultivos agrícolas (15,3%).

Fincas Vecinos

En el Cuadro 14 se muestra la matriz de transición entre categorías de coberturas entre 1986 y 1992 para las fincas Vecinos.

Cuadro 14. Matriz de transición entre categorías de cobertura en las fincas Vecinos entre 1986-1992.

Categorías de uso 1986	Categorías de uso 1992					Total 1986 ha
	Bosque Natural ha	Otros ha	Potrero ha	Cultivos ha	Urbano ha	
Bosque Natural	481,5	61,5	94,2	34,0	5,3	676,5
Otros	9,4	3,4	0,0	0,0	0,0	12,8
Potrero	29,3	0,0	20,5	49,1	0,5	99,4
Total 1992 ha	520,2	64,9	114,8	83,1	5,9	788,7

El área de bosque que permaneció fue de 71,2%. El principal cambio que sufrió esta categoría de uso de la tierra fue a potreros (13,9%) y a cultivos agrícolas (5,0%), lo cual produjo una pérdida de 156,3 ha de bosque natural.

El área de potreros incrementó 15,4 ha. Un 20,6% de los potreros permanecieron en 1992. La mayoría de los potreros cambiaron a la categoría de cultivos agrícolas (49,4%) y bosques naturales (29,5%).

No hubo presencia de cultivos agrícolas en 1986, sin embargo en 1992, debido al cambio de uso de potreros y bosques naturales, se registró un total de 83,1 ha bajo esta categoría.

Fincas PSA

En el Cuadro 15 se muestra la matriz de transición entre categorías de coberturas entre 1986 y 1992 para las fincas PSA.

Cuadro 15. Matriz de transición entre categorías de cobertura en las fincas PSA entre 1986-1992.

Categorías en 1986	Categorías en 1992				Total 1986 ha
	Bosque Natural ha	Potrero ha	Otros ha	Cultivos ha	
Bosque Natural	4137,5	103,4	631,7	1,2	4873,8
Potrero	154,7	71,5	28,2	0,0	254,4
Otros	14,2	0,0	0,0	0,0	14,2
Total 1992 ha	4306,4	174,9	659,8	1,2	5142,4

El 84,9% del bosque permaneció en el tiempo, lo cual constituye el porcentaje más alto encontrado en los cuatro tipos de fincas. El principal cambio de uso que sufrieron los bosques fue hacia la categoría “otros” (12,3%), seguido por la categoría potreros (2,1%).

Las fincas PSA tuvieron un cambio desfavorable para los potreros, donde el cambio más significativo fue hacia bosque natural (154,7 ha).

Al igual que las fincas Vecinos, en el caso de las fincas PSA no se observaron cultivos agrícolas en 1986, y en este caso, la deforestación del bosque natural, favoreció la presencia de 1,2 ha de esta categoría en 1992.

Se observó que en los cuatro tipos de fincas permaneció la mayor parte del bosque en 1992, donde las fincas PSA presentaron los mayores porcentajes de permanencia, encontrándose así un 84,9% del bosque de 1986, seguido por las fincas Vecinos (71,2%), las fincas Buffers (70,5%) y las fincas Distritos (56,4%).

En la mayoría de las fincas es evidente la deforestación, principalmente debido a la transformación de bosque natural a potreros.

El cambio principal a potreros probablemente responde a las políticas nacionales implementadas en ese periodo de tiempo, en el cual se incentivaba la expansión de la frontera agrícola, por lo que el valor del bosque natural era muy poco o nulo (FONAFIFO s.f.).

Existió una transición dinámica entre las categorías de bosque natural y potrero que tienden a cambiar entre ellos, contrario al comportamiento observado en el caso de los cultivos, los cuales tienden a mantenerse en el tiempo. Se encontró una transición importante de áreas de potrero a cultivos en las fincas Distritos y Vecinos.

Matrices de transición segundo periodo (1992-2005)

Las matrices de transición se elaboraron para cada tipo de finca con el fin de conocer en términos de hectáreas las categorías de uso en este período.

En todas las matrices de transición, los números resaltados en negrita indican las áreas que no sufrieron cambios en el uso del suelo en el periodo analizado.

Fincas Buffers

En el Cuadro 16 se muestra la matriz de transición entre categorías de coberturas entre 1992 y el 2005 para las fincas Buffers.

**Cuadro 16. Matriz de transición entre categorías de cobertura en las fincas
Buffers entre 1992-2005.**

Categorías de uso 1992	Categorías de uso 2005						Total 1992 ha
	B.N. ⁴ ha	Cultivos ha	Otros ha	Potrero ha	Reforesta ⁵ ha	Z. urbanas ⁶ ha	
Bosque							
Natural	1216,6	2,7	22,0	207,0	0,8	0,0	1449,1
Cultivos	0,0	14,6	0,0	0,1	0,0	0,0	14,7
Otros	18,0	21,7	0,9	7,6	0,0	0,3	48,5
Potrero	78,4	7,1	62,2	635,0	0,3	0,0	782,9
Total 2005	1313,0	46,0	85,1	849,6	1,1	0,3	2295,2

El bosque natural se mantuvo en un 84,0%. El mayor cambio de uso de esta categoría fue a potreros (14,3%) seguido por los cultivos agrícolas (0,2%), lo cual influyó en que se perdieran 136,1 ha de bosque natural.

Los cultivos agrícolas se mantuvieron aproximadamente en un 100%. Los cambios que favorecieron el incremento de su área fueron por la transformación de la categoría “otros” (21,7 ha), potreros (7,1 ha) y bosque natural (2,7 ha).

Los potreros se mantuvieron en un 81,1%. El mayor cambio de uso de esta categoría fue a bosque natural (10%), mientras que se observó una ganancia de 66,7 ha en el área de potreros.

Fincas Distritos

En el Cuadro 17 se muestra la matriz de transición entre categorías de coberturas entre 1992 y el 2005 para las fincas Distritos.

⁴ Bosque Natural

⁵ Reforestación

⁶ Zonas urbanas

**Cuadro 17. Matriz de transición entre categorías de cobertura en las fincas
Distritos entre 1992-2005.**

Categorías de uso 1992	Categorías de uso 2005						Total 1992 ha
	B.N. ⁷ ha	Cultivos ha	Otros ha	Potrero ha	Reforesta ⁸ ha	Z. urbanas ⁹ ha	
Bosque							
Natural	1003,0	69,2	22,2	250,5	0,2	0,4	1345,4
Cultivos	22,0	535,4	13,0	160,4	33,3	3,5	767,6
Otros	216,7	1,4	5,0	0,3			223,4
Potrero	88,6	159,3	17,6	548,8	0,1	2,2	816,6
Total 2005 ha	1330,4	765,3	57,7	960,0	33,7	6,1	3153,0

El bosque natural se mantuvo en un 74,6%. El principal cambio de esta categoría fue a potrero (18,6%), seguido por los cultivos agrícolas (5,1%).

Los cultivos agrícolas se mantuvieron un 69,8%. El principal cambio de esta categoría fue a potrero (20,9%), seguido por bosque natural (2,9%), lo cual contribuyó a la pérdida de 2,3 ha dedicadas a cultivos.

Los potreros se mantuvieron en un 67,2%, y constituyeron la categoría de uso que más incrementó en el tiempo (143,4 ha). El mayor cambio de uso de esta categoría fue a cultivos agrícolas (19,5%) seguido por bosque natural (10,8%).

Fincas Vecinos

En el Cuadro 18 se muestra la matriz de transición entre categorías de coberturas entre 1992 y el 2005 para las fincas Vecinos.

⁷ Bosque Natural

⁸ Reforestación

⁹ Zonas urbanas

Cuadro 18. Matriz de transición entre categorías de cobertura en las fincas Vecinos entre 1992-2005.

Categorías de uso 1992	Categorías de uso 2005					Total 1992 ha
	B.N. ¹⁰ ha	Cultivos ha	Otros ha	Potrero ha	Z. urbanas ¹¹ ha	
Bosque Natural	463,1	21,4	0,1	32,6	3	520,2
Cultivos	2,1	76,5	0	0,8	3,7	83,1
Otros	64,9	0	0	0	0	64,9
Potrero	23,5	25,9	0,2	60,8	7,3	114,8
Urbano	3,0	0	0	1,3	1,6	5,9
Total 2005 ha	553,6	123,7	0,3	95,6	15,6	788,7

El bosque natural se mantuvo en un 89%. El principal cambio de esta categoría de uso fue a potrero (6,3%), seguido por los cultivos agrícolas (4,1%). Se observa una recuperación en la cobertura boscosa de 33,4 ha, principalmente por la transformación de la categoría “otros”.

Los cultivos agrícolas se mantuvieron en un alto porcentaje (92,0%). El principal cambio de esta categoría de uso fue a zonas urbanas (4,5%), mientras que la transformación de las categorías de potrero y bosque natural, contribuyeron al incremento de 40,6 ha de su área.

Los potreros se mantuvieron en un 53%. El principal cambio de esta categoría de uso fue a cultivos agrícolas (22,5 %) y a bosque natural (17,9%), significando una pérdida de 19,2 ha.

¹⁰ Bosque Natural

¹¹ Zonas urbanas

Fincas PSA

En el Cuadro 19 se muestra la matriz de transición entre categorías de coberturas entre 1992 y el 2005 para las fincas PSA.

Cuadro 19. Matriz de transición entre categorías de cobertura en las fincas PSA entre 1992-2005.

Categorías de uso 1992	Categorías de uso 2005						Total 1992 ha
	B. N. ¹² ha	Cultivos ha	Otros ha	Potrero ha	Reforesta ¹³ ha	Z. urbanas ¹⁴ ha	
Bosque							
Natural	4155,3	0,1	66,4	73,8	10,6	0,2	4306,4
Cultivos	0,7	0,0	0,0	0,5	0,0	0,0	1,2
Otros	594,6	16,0	12,2	37,1	0,0	0,0	659,8
Potrero	92,6	0,3	1,1	60,5	19,6	0,8	174,9
Total 2005	4843,2	16,4	79,6	172,0	30,2	1,0	5142,4

El bosque natural se mantuvo en un 96,5% siendo este el porcentaje más alto de las 4 fincas. El principal cambio de esta categoría de uso fue a potrero (1,7%). Se registró una aparente recuperación de 536,8 ha de bosque natural, sin embargo eso se debe principalmente a la conversión de 594,6 ha de la categoría “otros”.

Los cultivos agrícolas no se mantuvieron, transformándose principalmente a bosque natural (60%) y a potreros (40%). Los cultivos presentes corresponden a la transformación de la categoría otros (16 ha).

Los potreros se mantuvieron en un 34,6%, donde el principal cambio fue a bosque natural (52,9%), lo cual podría ser el efecto de haber sometido esas fincas a pago por servicios ambientales, sin embargo es de importancia destacar que en el

¹² Bosque Natural

¹³ Reforestación

¹⁴ Zonas urbanas

periodo 1986-1992 ocurrió un cambio de potreros en favor de la cobertura boscosa aún mayor que el observado en el periodo 1992-2005.

En 1992 no fue posible conocer el uso de la tierra de 659,8 ha debido a la presencia de nubes, sombras o porque no existió cobertura suficiente de fotos aéreas. En el 2005 se encontró que el 90,1% de esa área (594,6 ha) perteneció a bosque naturales, por lo cual se podría suponer que ese porcentaje fue bosque natural en 1992. Por lo tanto, el área de bosque natural en las fincas PSA no cambió significativamente a lo largo del tiempo (94,8%; 95,3% y 94,2% en 1986, 1992 y el 2005, respectivamente).

En el 2005, la mayor parte del área de todas las fincas, permaneció como bosque natural, lo cual concuerda con la situación a nivel nacional que reporta Acevedo (2006 citado por Obando, *et al.*, 2006). El cambio más importante observado en las áreas de bosque, es a potreros, sin embargo ese efecto no es tan notable debido al hecho de que existe un cambio importante de las áreas de potreros a bosque natural, lo cual indica que en el segundo periodo también existió un cambio dinámico entre las categorías de uso bosque natural y potreros.

Al igual que el primer periodo, en el segundo, los cultivos tienden a mantenerse en el tiempo en los cuatro tipos de fincas y a pesar de que no cubren un área muy extensa mostraron una tendencia creciente en el transcurso del tiempo.

A pesar de que los cultivos agrícolas no crecieron de manera exponencial en ningún tipo de finca, se observó que, en las fincas Buffers, Distritos y Vecinos, una vez establecidos tienden a mantenerse en el tiempo, esto implica que las áreas deforestadas debido al cambio de uso hacia cultivos agrícolas raras veces vuelven a ser bosque natural.

Los cambios en el uso de la tierra en todos los tipos de fincas en el segundo periodo son considerablemente menores que los observados en el primero, lo cual podría ser debido a que en la actualidad existen herramientas mucho más

sofisticadas, como los Sistemas de Información Geográfica, que permiten mantener un monitoreo del uso de la tierra de forma más efectiva (Obando, *et al.*, 2006), ayudando a que los permisos otorgados para realizar prácticas de corta en los bosques se brinden de forma más controlada.

Por otra parte, de acuerdo con un estudio realizado por Céspedes (2006) en el Área de Conservación Osa y el Área de Conservación La Amistad – Caribe, los incentivos de Organizaciones No Gubernamentales (ONGs) a prácticas de conservación y la emigración en busca de fuentes de trabajo constituyen los factores más importantes para que los dueños de fincas tomen la decisión de mantener el bosque natural.

Relación capacidad de uso de la tierra y uso

La razón principal que motiva al dueño de un bosque a hacer cambio de uso en el suelo es la mayor rentabilidad de otras actividades productivas (Obando, *et al.*, 2006; Sánchez, *et al.*, 2001) dado lo engorroso que puede ser someter un bosque a un plan de manejo y las jugosas ganancias que pueden obtener al cultivar, por ejemplo, piña que puede significar una rentabilidad 7 veces mayor por hectárea por año, que si se dedicara a bosque (Obando, *et al.*, 2006). En este capítulo se pretende conocer si existe una relación directa entre los cambios de uso en la tierra y la capacidad de uso de la misma.

De acuerdo con la metodología oficial para determinar la capacidad de uso de la tierra en Costa Rica, las categorías de capacidad de uso de la tierra I, II, III y IV se consideran aptas para un 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 y A.P. (Áreas Protegidas) se consideran aptas solamente para bosque natural.

En el Cuadro 20 se muestra la capacidad de uso de la tierra en los cuatro tipos de fincas.

Cuadro 20. Capacidad de uso de la tierra según el tipo de fincas.

Fincas	Agropecuario ha	Potrero ha	Bosque natural ha	Total ha
Buffers	909,6	0,0	1385,6	2295,2
Distritos	2287,4	512,6	353,0	3153,0
Vecinos	278,7	282,5	227,5	788,7
PSA	1418,7	408,3	3315,5	5142,4

La mayoría del área que conforman las fincas Buffers y PSA tienen una capacidad de uso exclusivamente para bosque natural (60% y 64% respectivamente), mientras que las fincas Distritos y Vecinos tienen un comportamiento contrario, pues la mayoría del área que las conforman poseen una capacidad para actividades agropecuarias (89% y 71% respectivamente).

En todos los tipos de fincas la capacidad de uso de la tierra parece ser un factor determinante en el cambio de uso de la tierra. Prueba de ello es la situación encontrada en el caso de los cultivos agrícolas, los cuales son más exigentes en cuanto a la capacidad de uso de la tierra que los potreros, en las fincas Distritos y Vecinos se observó mayor porcentaje de área dedicada a los cultivos agrícolas que las fincas Buffers y PSA.

En el Cuadro 21 se puede observar la capacidad de uso de la tierra para los cuatro tipos de finca según el uso dado en 1986.

Cuadro 21. Capacidad de uso de la tierra de acuerdo al uso observado en 1986 para los cuatro tipos de fincas.

Fincas	Uso	Capacidad de uso de la tierra						Total	
		Agropecuario		Potrero		Bosque natural		ha	%
		ha	%	ha	%	ha	%	ha	%
Buffers	Bosque	737,2	32,1	0,0	0,0	1067,4	46,5	1804,6	78,6
	No bosque	172,4	7,5	0,0	0,0	318,3	13,9	490,6	21,4
	Otros	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
	Total	909,6	39,6	0,0	0,0	1385,6	60,4	2295,2	100,0
Distritos	Bosque	1167,7	37,0	370,1	11,7	342,0	10,8	1879,8	59,6
	No bosque	1119,7	35,5	2,8	0,1	11,0	0,3	1133,5	35,9
	Otros	0,0	0,0	139,7	4,4	0,0	0,0	139,7	4,4
	Total	2287,4	72,5	512,6	16,3	353,0	11,2	3153,0	100,0
Vecinos	Bosque	189,0	24,0	274,4	34,8	213,1	27,0	676,5	85,8
	No bosque	89,8	11,4	1,0	0,1	8,6	1,1	99,4	12,6
	Otros	0,0	0,0	7,0	0,9	5,7	0,7	12,8	1,6
	Total	278,7	35,3	282,5	35,8	227,5	28,8	788,7	100,0
PSA	Bosque	1236,3	24,0	406,9	7,9	3230,6	62,8	4873,8	94,8
	No bosque	182,4	3,5	0,0	0,0	72,0	1,4	254,4	4,9
	Otros	0,0	0,0	1,3	0,0	12,8	0,2	14,2	0,3
	Total	1418,7	27,6	408,3	7,9	3315,5	64,5	5142,4	100,0

El uso adecuado en las fincas Buffers se registró en el 54% del área total. La mayoría correspondió a terrenos dedicados a bosque natural (46,5% del área total). Se observó un 32,1% en sub utilización y un 13,9% de sobre uso, del área total de las fincas Buffers.

En el caso de las fincas Distritos, el uso adecuado se registró en el 46,4% del área. A diferencia de las fincas Buffers, la mayoría correspondió a terrenos dedicados a actividades agropecuarias o ganaderas (35,6%). Un porcentaje alto de las fincas Distritos (48,7%) se encontraron en la categoría de sub utilización.

El uso adecuado en las fincas Vecinos se observó en el 38,5% del área total, debido principalmente al área dedicada a bosque natural (27%). Al igual que las fincas Distritos, las fincas Vecinos tuvieron un porcentaje elevado en la categoría de sub utilización (58,8%).

En las fincas PSA se encontró un uso adecuado en el 66,3% del área total, donde la mayoría estuvo cubierta por bosque natural (62,8%). Al igual que en las demás fincas, en las PSA, se registró un porcentaje significativo del área total en la categoría de sub utilización (31,9%).

Debido a que en todas las fincas se observó un porcentaje importante del área en la categoría de sub utilización, es de esperar muchos cambios en el uso de la tierra que resulten en un uso adecuado. Es importante resaltar que solo en el caso de las fincas Buffers se registró una sub utilización de la tierra importante.

En el Cuadro 22 se puede ver la capacidad de uso de la tierra según el uso observado en 1992 para los cuatro tipos de fincas.

Cuadro 22. Capacidad de uso de la tierra de acuerdo al uso observado en 1992 para los cuatro tipos de fincas.

Fincas	Uso	Capacidad de uso de la tierra						Total	
		Agropecuario		Potrero		Bosque natural		ha	%
		ha	%	ha	%	ha	%	ha	%
	Bosque	563,9	24,6	0	0	885,2	38,6	1449,1	63,1
	No								
Buffers	bosque	305,1	13,3	0	0	492,5	21,5	797,6	34,7
	Otros	40,6	1,8	0	0	7,9	0,3	48,5	2,1
	Total	909,6	39,6	0	0	1385,6	60,4	2295,2	100,0
	Bosque	760,3	24,1	459,7	14,6	125,4	4,0	1345,4	42,7
	No								
Distritos	bosque	1516,7	48,1	53,0	1,7	14,5	0,5	1584,2	50,2
	Otros	10,4	0,3	0,0	0,0	213,0	6,8	223,4	7,1
	Total	2287,4	72,5	512,6	16,3	353,0	11,2	3153,0	100,0
	Bosque	102,5	13,0	228,7	29,0	189,0	24,0	520,2	66,0
	No								
Vecinos	bosque	176,2	22,3	1,9	0,2	25,6	3,2	203,7	25,8
	Otros	0,0	0,0	51,9	6,6	12,9	1,6	64,9	8,2
	Total	278,7	35,3	282,5	35,8	227,5	28,8	788,7	100,0
	Bosque	1055,1	20,5	317,0	6,2	2934,4	57,1	4306,4	83,7
	No								
PSA	bosque	139,8	2,7	0,0	0,0	36,3	0,7	176,1	3,4
	Otros	223,8	4,4	91,3	1,8	344,8	6,7	659,8	12,8
	Total	1418,7	27,6	408,3	7,9	3315,5	64,5	5142,4	100,0

En las fincas Buffers se observó que el 51,9% del área total tuvo un uso adecuado y, al igual que en 1986, se debió principalmente, a la cobertura de bosque natural (38,6%). Se podría decir que los cambios ocurridos en el primer periodo no tendieron a cambiar mucho las áreas de uso adecuado.

A pesar de que se determinó una esperada reducción del área sub utilizada (7,5%), se encontró que en 1992 esta fue relativamente grande (24,6% del área total).

Las fincas Buffers fueron las únicas que registraron un aumento considerable en el área de sobre uso (7,6% más que en 1986).

En las fincas Distritos, el uso adecuado se vio favorecido, pues se observó un aumento de 7,4% del área, debido principalmente a terrenos dedicados a actividades agropecuarias o ganaderas.

El área sub utilizada disminuyó en un 10% como era de esperarse, sin embargo en 1992, esta fue relativamente grande (38,7% del área total). El principal cambio fue debido a las áreas dedicadas a actividades agropecuarias presente en 1986, mientras que las áreas dedicadas a actividades ganaderas tendieron a mantenerse en el tiempo.

En el caso de las fincas Vecinos se observó un aumento en las áreas con uso adecuado de un 8% del área total, debido a áreas cubiertas por bosque natural y terrenos dedicados a actividades agropecuarias.

El área sub utilizada, de acuerdo a lo esperado, disminuyó en un 16,8% del área total, siendo la disminución más significativa de todas las fincas. A pesar de esto, para el año 1992, esta categoría fue relativamente grande (42% del área).

Las fincas PSA registran una pérdida en las áreas de uso adecuado de un 6,5% del área total, contrario a lo encontrado en los restantes tipos de fincas, lo cual fue producto del cambio en el uso del suelo de la categoría "otros". Sin embargo, suponiendo que en la categoría "otros", 594,6 ha corresponden a bosque natural (presentes desde 1986), la pérdida en las áreas de uso adecuado sería de un 0,4%.

En 1992 se observó que un porcentaje importante del área de cada tipo de finca, está siendo sub utilizada, por lo que es de esperar cambios en el uso de la tierra que resulten en un uso adecuado.

En el Cuadro 23 se muestra la capacidad de uso de la tierra, para los cuatro tipos de fincas, de acuerdo al uso observado en el 2005.

Cuadro 23. Capacidad de uso de la tierra de acuerdo al uso observado en el 2005 para los cuatro tipos de fincas.

Fincas	Uso	Capacidad de uso de la tierra						Total	
		Agropecuario		Potrero		Bosque natural		ha	%
		ha	%	ha	%	ha	%	ha	%
Buffers	Bosque	469,4	20,5	0,0	0,0	843,7	36,8	1313,0	57,2
	No bosque	386,4	16,8	0,0	0,0	510,7	22,3	897,1	39,1
	Otros	53,8	2,3	0,0	0,0	31,2	1,4	85,1	3,7
	Total	909,6	39,6	0,0	0,0	1385,6	60,4	2295,2	100,0
Distritos	Bosque	605,6	19,2	422,8	13,4	302,0	9,6	1330,4	42,2
	No bosque	1624,1	51,5	89,9	2,9	51,0	1,6	1765,0	56,0
	Otros	57,7	1,8	0,0	0,0	0,0	0,0	57,7	1,8
	Total	2287,4	72,5	512,7	16,3	353,0	11,2	2640,4	100,0
Vecinos	Bosque	81,3	10,3	275,7	35,0	196,7	24,9	553,6	70,2
	No bosque	197,1	25,0	6,8	0,9	30,8	3,9	234,8	29,8
	Otros	0,3	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,3	0,0
	Total	278,7	35,3	282,5	35,8	227,5	28,8	506,2	100,0
PSA	Bosque	1293,2	25,1	390,3	7,6	3159,7	61,4	4843,2	94,2
	No bosque	124,6	2,4	18,0	0,3	76,9	1,5	219,5	4,3
	Otros	0,8	0,0	0,0	0,0	78,8	1,5	79,6	1,5
	Total	1418,7	27,6	408,3	7,9	3315,5	64,5	5142,4	100,0

Las fincas Buffers no tuvieron cambios significativos, en el segundo periodo, en cuanto al área de uso adecuado, pues se registró un 53,6% del área total, lo cual

corresponde a 1,7% más que en 1992. De igual forma, no se observó un cambio significativo en el área de sobre uso, la cual parece mantenerse en el tiempo.

El área sub utilizada disminuyó en un 4,1% del área total, lo cual significa que todavía existe un porcentaje del área importante que está bajo esta condición (20,5%).

En el caso de las fincas Distritos, el área bajo uso adecuado presentó un incremento de un 10,2%, debido principalmente a la presencia de terrenos dedicados a actividades agropecuarias o ganaderas.

El área sub utilizada disminuyó en un 6% del área total, según lo esperado, cambio que se debió, principalmente, al área dedicada a actividades agropecuarias en 1992, mientras que las áreas dedicadas a actividades ganaderas tendieron a mantenerse en el tiempo.

Las fincas Vecinos tuvieron cambios positivos en cuanto al área de uso adecuado, pues aumentó en un 4,3% del área total, debido principalmente a las áreas dedicadas a actividades agropecuarias. Contrario a lo esperado, en las fincas Vecinos se observó un aumento en las áreas sub utilizadas, de un 3,3%, lo cual representa un total de 25,8 ha.

En las fincas PSA se mostró un cambio positivo en las áreas de uso adecuado, pues estas aumentaron en un 4,3%, efecto del cambio de uso en la categoría "otros", ya que si se considera verdadero el supuesto de que 594,6 ha de esta categoría han permanecido en el tiempo como bosque, en el 2005 se observa una leve pérdida de las áreas de uso adecuado de un 1,7%.

Las áreas sub utilizadas registraron un aumento de un 6% respecto a 1992, no obstante ese efecto se ve disminuido si se consideran como bosque natural las 594,6 ha de la categoría "otros" presente en 1992, ya que las áreas sub utilizadas aumentarían en solo un 0,6%, es decir 30,9 ha en total.

Como se mencionó anteriormente, la mayor parte de las fincas Buffers tienen una capacidad exclusiva de uso del suelo para bosque natural, sin embargo muchas veces los dueños de fincas tienden a sobre utilizar sus terrenos por actividades agropecuarias más rentables en el corto plazo, en comparación con el bosque natural, situación ejemplificada con el hecho de que estos tipos de fincas fueron las únicas que presentaron una sobre utilización de la tierra significativa en 1986, 1992 y 2005 (13,9%; 21,5% y 22,3% del área total, respectivamente). Es decir, la capacidad de uso en las fincas Buffers no parece ser una limitante en el cambio de uso observado.

Las fincas PSA presentaron un comportamiento diferente al de las fincas Buffers, ya que a pesar de que poseen la mayor parte con capacidad exclusiva de uso para bosque natural, en ninguno de los tres años presentó un sobre uso de la tierra significativo, lo cual pueda ser porque la fuente de ingresos económicos de los finqueros no dependen directamente de los productos de las fincas PSA.

En el caso de las fincas Distritos y Vecinos, la condición fue diferente, ya que cuentan con la mayor parte del área en capacidad de uso de la tierra apta para actividades agropecuarias. Esto implica que en esas fincas existe un mayor riesgo en el cambio de uso de la tierra, demostrado en el hecho de que en 1992, Distritos registró un cambio negativo de su área de bosque de un 17,4%, sin embargo las fincas Vecinos, a diferencia de las Distritos, han sometido la mayor parte de su área a bosque natural.

Existe una relación más estrecha entre el comportamiento de las fincas PSA y las Vecinos, ya que ambas tienden a conservar el bosque natural a pesar de que cuentan con dos diferencias: los dueños de las fincas PSA reciben una retribución económica por la conservación del bosque, mientras que los dueños de las fincas Vecinos no reciben ninguna retribución económica por hacer lo mismo, y, la mayor parte de las fincas PSA tienen una capacidad de uso de la tierra exclusiva para bosque natural, mientras que la mayor parte de las fincas Vecinos tienen capacidad de uso de la tierra para actividades agropecuarias.

Dentro de las posibles causas de la permanencia del bosque natural en ambas fincas (PSA y Vecinos), se podría encontrar la limitante en el acceso a carreteras, ya que implicaría una mayor dificultad para los dueños de los terrenos el dedicar sus fincas a otros usos, como los cultivos agrícolas. Así mismo, podría existir una influencia directa positiva del programa de pago por servicios ambientales, en las fincas Vecinos, para mantener estas áreas.

El hecho de que los dueños de las fincas vivan en ellas, genera a su vez condiciones determinantes en el uso que se les den. Así, en el caso de las fincas PSA y Vecinos, puede ser que los finqueros no vivan en las mismas y/o no dependan directamente de los productos de ellas, influyendo positivamente en la permanencia del bosque, mientras que los dueños de las fincas Buffers y Distritos, que podrían depender directamente de los productos de los terrenos donde viven, generarían una sobre utilización de los mismos, como fue el caso de las fincas Buffers.

CONCLUSIONES

En todos los tipos de fincas predomina el uso de bosque natural sobre cualquier otra categoría de uso en los tres años analizados.

Existió una mayor pérdida de las áreas de bosque en el primer periodo, en el cual se deforestaron 1 613 ha, que en el segundo, en el cual se perdieron 419,1 ha de bosque natural en total.

En el primer periodo las fincas Distritos sufrieron la mayor tasa de deforestación anual y las fincas PSA la menor.

En el segundo periodo las fincas Buffers fueron las que sufrieron la mayor tasa de deforestación anual. Aún así las fincas Buffers perdieron más área de bosque en el primer periodo que en el segundo.

En el primer periodo en las fincas Buffers y Distritos se observaron cambios que tendieron a favorecer a las áreas dedicadas a potreros (debido a la deforestación), mientras que las fincas Vecinos presentaron una pérdida en las áreas dedicadas a esa categoría de uso.

En el primer periodo la mayoría de los cambios de bosque natural a potreros en las fincas Buffers y en general, la mayoría de las áreas dedicadas a actividades agropecuarias o ganaderas en esas fincas resultaron en un sobre uso del suelo.

En las fincas Vecinos y Distritos se registraron cambios importantes que favorecieron a los cultivos agrícolas en el primer periodo. En el caso de las fincas Vecinos fue debido, principalmente, a cambios en el uso de los suelos dedicados a potreros mientras que en las fincas Distritos fue por deforestación.

A pesar de los cambios ocurridos en las áreas de potreros en las fincas Vecinos en el primer periodo, se obtuvo una ganancia neta en el área de esa categoría de uso debido a la deforestación.

Los bosques naturales de las fincas PSA se vieron favorecidas en el primer periodo porque el cambio de uso de los potreros hacia bosque natural fue mayor que la transformación de bosque a potreros.

En los dos periodos contemplados en este estudio, sobre todo en el primero, se observó una transición dinámica entre las categorías de bosque natural y potrero que tienden a cambiar entre ellas.

En las fincas Vecinos los cultivos agrícolas se vieron favorecidos principalmente debido a cambios en las tierras dedicadas a potreros en el segundo periodo.

En las fincas PSA se transformaron todos los cultivos agrícolas principalmente a bosque natural en el segundo periodo. En los demás tipos de fincas los cultivos agrícolas no decrecieron significativamente.

En términos generales una vez establecidos los cultivos agrícolas difícilmente cambian a otra categoría de uso en las fincas no PSA.

Los cambios observados en las fincas Distritos y PSA, en su mayoría concordaron con la capacidad de uso de la tierra.

En las fincas Buffers se registró un sobre uso de la tierra y en las Vecinos se encontró la mayor proporción de la tierra sub utilizada.

La capacidad de uso de la tierra en las fincas Buffers no impidió que se desarrollaran actividades agropecuarias que resultaron en un sobre uso.

Las tierras sub utilizadas en las fincas Buffers y Distritos tuvieron la tendencia a disminuir en el tiempo.

Las fincas Vecinos y Distritos tienen mayores probabilidades de ser deforestados dado que la capacidad de uso de la tierra, en su mayoría, es apta para actividades agropecuarias.

Las fincas PSA tendieron a mantener el uso de bosque natural en el tiempo, no presentaron importantes cambios en el uso del suelo.

RECOMENDACIONES

En el caso de las fotografías aéreas del 2005 lo recomendable es elaborar un listado con todas las posibles fotografías que puedan servir para el área de estudio, de esa manera, en caso de que haya presencia de muchas nubes en una fotografía se puede recurrir a otra.

No es recomendable realizar la ortorectificación de más de dos fotografías a la vez.

Si se tienen más de 4 puntos de control y aún así el programa no calcula la triangulación se debe corroborar que los puntos estén activos y se haya colocado toda la información (coordenadas "x", "y" y "z"). Si todo está correcto probablemente haya un punto o varios que inducen a mucho error, por lo tanto se debe probar hacer la triangulación desactivando algunos puntos de control.

Es preferible contar con información de campo para realizar la ortorectificación de las fotos.

En algunas ocasiones las fotografías presentan distorsiones que dificultan la fotointerpretación correcta en algunas secciones, lo ideal es buscar las fotos de mejor calidad.

En futuros trabajos se recomienda incorporar información de la disponibilidad y calidad de caminos aledaños a las fincas o zonas de estudio, para poder analizar el efecto que tiene en el cambio de uso de la tierra.

LITERATURA CONSULTADA

Aguilar, R; Bañados, H; Cuarite, R; Reynaga, R. 1999. Capítulo 5: Reconocimiento de patrones a partir de imágenes aéreas. (en línea). Departamento de Informática y automática. Proyectos de Cooperación de la Comunidad Iberoamericana. Aplicaciones e Implementaciones de las Redes Neuronales en Reconocimiento de Patrones (AIRENE). Universidad de Salamanca. Salamanca, España. 13 p. Consultado el 15/06/07. Disponible en: <http://lisisu02.fis.usal.es/~airene/airene.html>

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.

Bracho Barreto, J. 1976. Apuntes de fotogrametría. Escuela de Ingeniería Forestal. Facultad de Ciencias Forestales. Universidad de Los Andes. Mérida, Venezuela. 139 p.

Caimel Benítez, J. 2002. Ortorrectificación de fotografías aéreas utilizando el software Erdas Imagine 8.5. (en línea). Chile. 18 p. Consultado el 17/06/07. Disponible en: <http://www.cartografia.cl/download/manuales/erdas.pdf>

CENAT (Centro Nacional de Alta Tecnología); FUNDECOR (Fundación para el Desarrollo de la Cordillera Volcánica Central); PRIAS (Programa Nacional de Investigaciones Aerotransportadas y Sensores Remotos); CONARE (Consejo Nacional de Rectores). 2007. Clasificación de usos de la tierra en las Áreas de Conservación Cordillera Volcánica Central, Tortuguero y La Amistad – Caribe. Costa Rica. 1 disco compacto.

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.

Deagostini Routin, D. 1978. Introducción a la fotogrametría. Murillo, J.A. (ed.). Centro Interamericano de Fotointerpretación. Ministerio de Obras Públicas. Bogotá, Colombia. 267 p.

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 10/07/07. Disponible en: <http://www.igeograf.unam.mx/instituto/publicaciones/boletin/bol62/b62Art06.pdf>

Fallas, J. 2002. Uso de fotografías aéreas en el mapeo y monitoreo del uso-cobertura del suelo. (en línea). Instituto Internacional en Conservación y Manejo de Vida Silvestre (ICOMVIS). Universidad Nacional (UNA). Heredia, Costa Rica. Consultado el 15/06/07. Disponible en: http://www.icomvis.una.ac.cr/telesig/pdf/mapeo_monitoreo_p1.pdf

_____. 2003. Teledetección espacial. (en línea). Escuela de Ciencias Ambientales (EDECA); Programa Regional en Manejo de Vida Silvestre para Mesoamérica y el Caribe (PRMVS). Universidad Nacional (UNA). Heredia, Costa Rica. Consultado el 05/07/07. Disponible en: http://www.icomvis.una.ac.cr/telesig/pdf/teledeteccion_p1.pdf

_____. 2004. Ortorectificación de fotos aéreas con Ilwis. (en línea). Instituto Internacional en Conservación y Manejo de Vida Silvestre (ICOMVIS). Universidad Nacional (UNA). Heredia, Costa Rica. Consultado el 15/06/07. Disponible en: http://www.icomvis.una.ac.cr/telesig/pdf/ortorectificacion_p1.pdf

FONAFIFO (Fondo Nacional de Financiamiento Forestal). s.f. En busca del eslabón perdido del modelo de desarrollo sostenible de Costa Rica: La conservación de la biodiversidad a largo plazo. Consultado el 19/10/07. Disponible en: http://www.fonafifo.com/paginas_espanol/noticias/FBS/DocumentoOrientadorFBS.pdf

Garro Molina, JA; Loría Brenes LF; Obando, O. 1982. Elementos de fotogrametría y fotointerpretación aplicada a labores de inspección agropecuaria. Comisión Interinstitucional de Inspecciones Agropecuarias. SBN (Sistema Bancario Nacional), INS (Instituto Nacional de Seguros), SEPSA (Secretaría Ejecutiva de Planificación Sectorial Agropecuaria). 36 p.

González Vázquez, XP; Marey Pérez, MF. 2006. Fotointerpretación de los usos del suelo. (en línea). Departamento de Ingeniería Agroforestal. Universidad de Santiago de Compostela. Metacortex. España. Consultado el 15/06/07. Disponible en: <http://www.cartesia.org/article.php?sid=261>

INBio (Instituto Nacional de Biodiversidad,CR). c2007. Metodología. (en línea). Costa Rica. Consultado el 15/06/07. Disponible en: <http://www.inbio.ac.cr/ecomapas/acosau/metodologia.htm>

Kleinn, C; Ramírez, C; Chávez, G; Lobo, S. 2001. Estudio piloto para el inventario forestal nacional en Costa Rica: Informe para FAO (Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y Alimentación) FRA (Programa de Evaluación de los Recursos Forestales Mundiales). (en línea). CATIE (Centro Agronómico Tropical de Investigación y Enseñanza) SINAC (Sistema Nacional de Áreas de Conservación). Costa Rica. Consultado el 18/06/07. Disponible en: <http://documentacion.sirefor.go.cr/archivo/cobertura/inventarioforestal2000.pdf>

Leica. c2007. Capítulo 7: Conceptos fotogramétricos. (en línea). Georgia, Estados Unidos. 257-302: 46 p. Consultado el 27/06/07. Disponible en: http://www2.erdas.com/supportsite/documentation/files/spanish_field_guide/7_conceptos_fotogrametricos.pdf

Lipiente, JP. 2007. Uso de la fotointerpretación en la descripción geográfica. (en línea). Curso de Geografía. Universidad Católica de Chile. Chile. Consultado el 15/06/07. Disponible en:

http://cursos.puc.cl:82/vil5001-1/almacen/1118859876_jlipiant_sec2_pos0.pdf

López, E; Bocco, G. 2006. Patrones locales de cambios globales: efectos de la emigración en el cambio de uso del suelo en el centro de México. El caso de la cuenca del lago Cuitzeo, México. (en línea). Revista Electrónica de Geografía y Ciencias Sociales. Universidad de Barcelona. 10(218). Consultado el 15/06/07. Disponible en: <http://www.ub.es/geocrit/sn/sn-218-09.htm>

López Granados, E; Mendoza, M; Acosta, A. 2002a. Cambio de cobertura vegetal y uso de la tierra: El caso de la cuenca Endorreica del lago de Cuitzeo, Michoacán. (en línea). Gaceta ecológica (064): 19-34. Instituto Nacional de Ecología. Distrito Federal, México. Consultado el 18/06/07. Disponible en: <http://redalyc.uaemex.mx/redalyc/pdf/539/53906403.pdf>

Lopez González, FJ; Crecente Maseda, R; Álvarez López, CJ. 2002b. Los usos del suelo analizados mediante S.I.G. (en línea). XIV Congreso de Internacional de Ingeniería Gráfica. Santander, España. 5-7 junio 2002. Universidad de Santiago de Compostela, Departamento de Ingeniería Agroforestal. España. Consultado el 15/06/07. Disponible en:

<http://departamentos.unican.es/digteg/ingegraf/cd/ponencias/196.pdf>

Martí Llambrich, C. 2002. La utilización de SIG (Orthobase Erdas Imagine 8.4, Arc View 3.2) para el análisis de la transformación del paisaje litoral del centro de la costa brava en los últimos 50 años. (en línea). Tecnología de la Información Geográfica. Asociación de geógrafos españoles (AGE). X Coloquio de Geografía Cuantitativa. Consultado el 15/06/07. Disponible en: http://age.ieg.csic.es/metodos/docs/doc2_14.pdf

Mas, JF; Fernández, T. 2003. Una evaluación cuantitativa de los errores en el monitoreo de los cambios de cobertura por comparación de mapas. (en línea). Investigaciones Geográficas. Universidad Nacional Autónoma de México. Distrito Federal, México. (051): 73-87. Consultado el 10/07/07. Disponible en: <http://www.igeograf.unam.mx/instituto/publicaciones/boletin/bol51/b51art5.pdf>

Moreno Casasola, P; Rojas Galaviz, JL; Zárate Lomelí, D; Ortiz Pérez, AL; Saavedra Vázquez, T. 2002. Diagnóstico de los manglares de Veracruz: distribución, vínculo con los recursos pesqueros y su problemática. (en línea) Madera y Bosques, número especial p 61-88. Consultado el 17/06/07. Disponible en: <http://www.ecologia.edu.mx/publicaciones/myb/resúmenes/no.%20esp.1/pmoreno%20et%20al%202002r.pdf>

Obando, V; Murillo, K; García, R. 2006. Duodécimo informe sobre el estado de la nación en desarrollo humano sostenible: Gestión del patrimonio. Estado de la Nación. CONARE (Consejo Nacional de Rectores) Defensoría de los Habitantes. 49 p. Consultado el 19/10/07. Disponible en: www.estadonacion.or.cr/Info2006/Ponencias/armonia/Gestion_Patrimonio.pdf

Ortiz Malavasi, E. 2001. Sistemas de Información Geográfica. In: Informe de Proyecto: Aplicación de los sistemas de información geográfica al manejo de recursos naturales (ASIGMARN). Vicerrectoría de Investigación y Extensión, Instituto Tecnológico de Costa Rica, Cartago, CR. p. 34-37.

____; Soto, C. 2007. Manual de orthorectificación de fotografías aéreas digitales. En prensa.

____. 2004. Atlas Digital de Costa Rica. Escuela de Ingeniería Forestal, Instituto Tecnológico de Costa Rica. 1 disco compacto.

Peña, J; Poveda, RM; Bonet, A; Bellot, J; Escarré, A. 2005. Cartografía de las coberturas y usos del suelo de La Marina Baixa (Alicante) para 1956, 1978 y 2000. (en línea) *Investigaciones Geográficas* (37): 93-107. Instituto Universitario de Geografía. Universidad de Alicante. San Vicente del Raspeig. España. Consultado el 17/06/07. Disponible en: <http://www.cervantesvirtual.com/FichaObra.html?Ref=19047>

Rodríguez Hernández, SV. s.f. La cartografía digital y los sistemas de información geográfica, expresión actual de la cartografía (en línea). Unidad de Ciencia y Tecnología GEOCUBA. La Habana, Cuba. Consultado el 17/06/07. Disponible en: www.ismm.edu.cu/R_Geociencias_Quimica/VolumenII/Silvio%20Rodr%EDguez%20Cartograf%EDa%20y%20SIG.pdf

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

Spurr, S.H. 1960. *Photogrammetry and photo-interpretation: With a section on applications to Forestry*. The Roland Press Company. II Edición. University of Michigan. Estados Unidos. 472 p.

ANEXOS

Anexo 1. Cobertura de las ortofotos de la misión Dma de 1992 generadas de acuerdo a las hojas cartográficas escala 1:50 000.

Fotografía	Hoja Cartográfica escala 1:50 000			
Dma RL38 7446	Chaparrón	Río Cuarto		
Dma R4L27c 8417	Agua Fría	California	Guácimo	
Dma R4L27c 8415	Agua Fría	California	Parismina	
Dma R4L27c 8416	Agua Fría	California	Guácimo	Parismina
Dma R4L26c 8352	Agua Fría	Guácimo	Guápiles	
Dma R4L26c 8350	Guápiles			
Dma R1L38 7437	Agua Fría	Tortuguero		
Dma R1L38 7436	Agua Fría	California	Tortuguero	
Dma R4L27c 8423	Guápiles	Río Sucio		
Dma R4L26c 8348	Guápiles			
Dma R4L26c 8346	Guápiles	Poás		
Dma R4L26c 8344	Poás			
Dma R4L25D 8337	Bonilla	Guácimo	Guápiles	
Dma R2L26a 7795	Guácimo	Parismina		
Dma R2L25b 7724	Bonilla	Guácimo		
Dma R2L24 7690	Bonilla	Guácimo		
Dma R2L24 7689	Bonilla	Guácimo		
Dma R4L27b 8362	Río Cuarto			
Dma R4L27B 8360	Poás	Río Cuarto		
Dma R4L27B 8358	Guápiles	Poás	Río Cuarto	Río Sucio
Dma R4L25d 8342	Carrillo	Guápiles	Poás	
Dma R4L25d 8341	Carrillo	Guápiles		
Dma R4L25d 8339	Carrillo	Guápiles		
Dma R4L27c 8425	Guápiles	Río Cuarto	Río Sucio	
Dma R1L38 7438	Agua Fría	Tortuguero		
Dma R2L25b 7722	Bonilla	Guácimo	Parismina	
Dma R1L38 7448	Chaparrón	Río Cuarto		

Anexo 2. Cobertura de las ortofotos de la misión Carta del 2005 generadas de acuerdo a las hojas cartográficas escala 1:50 000.

Fotografía	Hojas Cartográficas escala 1:50 000	
58412494	Guácimo	
58412565	Río Sucio	Guápiles
58412580	Guácimo	Bonilla
58412583	Guápiles	
58412609	Bonilla	
58412612	Bonilla	
58412615	Guápiles	
58412617	Guápiles	
58412620	Guápiles	
58412622	Guápiles	
58412624	Guápiles	
58412625	Guápiles	
58412626	Guápiles	
58412627	Río Sucio	Guápiles
58412629	Río Sucio	Guápiles
58412633	Río Cuarto	
58412636	Río Cuarto	
58412648	Río Sucio	
58412649	Río Cuarto	
58412660	Guápiles	
58412664	Guápiles	
58412665	Guápiles	
58412666	Guápiles	
58412667	Guápiles	
58412669	Guápiles	
58412673	Bonilla	
58412675	Bonilla	
58412677	Bonilla	
58412730	Bonilla	
58412732	Bonilla	
58473360	Poás	
58473361	Poás	
58473362	Poás	
58493728	California	Agua Fría
58493733	California	Parismina
58493786	California	Parismina
58493789	Agua Fría	Guácimo
58493856	California	Parismina
58493858	California	Parismina

Fotografía	Hojas Cartográficas escala 1:50 000	
58493894	Guácimo	
58493938	Agua Fría	Tortuguero
58493939	Agua Fría	Tortuguero
58493952	Tortuguero	
58493965	Tortuguero	
58555134	Cutris	
58555146	Chirripó Atlántico	
58555195	Río Cuarto	
58555196	Río Cuarto	
58637359	Guácimo	
58637372	Río Sucio	
58637379	Río Sucio	
58637393	Guácimo	
58657530	Río Cuarto	Chaparrón
58657531	Chaparrón	
58657606	Chaparrón	
58657608	Chaparrón	
58657609	Chaparrón	
58697786	Poás	
58697790	Poás	Guápiles
58697791	Guápiles	
58697792	Guápiles	
58697793	Guápiles	
58778870	Guácimo	
58778871	Guácimo	
58778872	Guácimo	
58778935	Guápiles	
58778936	Guápiles	
58778941	Río Sucio	
58778947	Río Cuarto	
58778948	Río Cuarto	
58778950	Río Cuarto	
58799110	Bonilla	
58799115	Carrillo	
58799116	Carrillo	
58799117	Carrillo	
58799119	Guápiles	
58799120	Guápiles	
58799121	Guápiles	
58799127	Poás	
58799128	Poás	
58799129	Río Cuarto	Poás
58799186	Carrillo	

Fotografía	Hojas Cartográficas escala 1:50 000	
58799261	Guápiles	
58799262	Guápiles	
58799269	Río Sucio	Río Cuarto
58799270	Río Sucio	Río Cuarto
58799272	Río Cuarto	
58799273	Río Cuarto	
58799274	Río Cuarto	
58799275	Río Cuarto	
58839712	Guápiles	Poás
58839800	Chaparrón	Chirripó Atlántico
58891018	Chirripó Atlántico	
58891028	Cutris	