

¿Cómo generar sistemas de información geográfica a partir de fotografías aéreas para describir los sistemas silvopastoriles y sus componentes en fincas ganaderas?

Francisco Casasola¹, Muhammad Ibrahim², Alexander González³

INTRODUCCIÓN

La ganadería ha sido considerada como una de las principales causas de la deforestación en América Latina (Kaimowitz 1996). Además, se le atribuyen externalidades negativas como la pérdida de la biodiversidad, disminución de la capacidad productiva de los suelos por compactación y erosión de los mismos, contribución al calentamiento global de la atmósfera mediante la emisión de gases y la disminución en la calidad y cantidad de agua. Ante esta situación, el sector ganadero deberá buscar alternativas de producción que permitan producir competitiva y sosteniblemente, identificando en las fincas ganaderas las áreas con mayor potencial productivo para cada alternativa.

Por ello herramientas como los sistemas de información geográfica (SIG), que son sistemas computarizados para el almacenamiento y manipulación de información cartográfica (Aronoff 1993), pueden ayudar en el registro del estado actual de los componentes de los sistemas silvopastoriles (SSP) presentes en las fincas ganaderas (p.ej., suelos, pasturas y árboles con diferentes usos dentro de la finca), así como en el planeamiento y desarrollo de las estrategias a seguir para mejorar los existentes o implementar nuevos.

El objetivo de este trabajo es sugerir lineamientos metodológicos sobre cómo crear un SIG a partir de fotografías aéreas para documentar y presentar la ubicación y el estado de los SSP y de sus componentes en fincas ganaderas. Para generar un SIG a partir de fotografías aéreas, uno de los aspectos fundamentales es conocer adecuadamente como definir los atributos o variables

que clasifican a cada polígono⁴. De acuerdo a lo anterior, cuando se trabaja con SSP, sus componentes y el estado de los mismos, conviene conocer adecuadamente los siguientes conceptos.

¿QUÉ ES UN SISTEMA SILVOPASTORIL?

Es una opción de producción pecuaria que involucra la presencia de leñosas perennes (árboles o arbustos), que interactúan con los componentes tradicionales (forrajes herbáceas y animales), todos ellos bajo un sistema de manejo integral (Pezo e Ibrahim 1996).

¿CUÁLES TIPOS DE SISTEMAS SILVOPASTORILES EXISTEN?

Entre la amplia gama se mencionan las cercas vivas, cortinas rompevientos, bancos forrajeros, árboles dispersos en potreros (forestales, frutales y sombra), barreras vivas, pasturas en callejones, pastoreo bajo plantaciones forestales o frutales, y el pastoreo en charrales, acahuales, tacotales, matorrales o bosques naturales (Ibrahim *et al* 1998).

¿CUÁLES SON LOS PRINCIPALES COMPONENTES DE LOS SISTEMAS SILVOPASTORILES Y CÓMO DETERMINAR SU ESTADO DENTRO DE LAS FINCAS GANADERAS?

Los principales componentes de los SSP son el suelo, el ganado, las leñosas perennes (árboles y arbustos) y las herbáceas forrajeras (gramíneas o leguminosas). Las variables relacionadas con las propiedades físicas, químicas y biológicas del suelo se determinan a partir de muestras, las cuales se someten a diferentes análisis de

¹ Investigador II, Departamento de Agroforestería, CATIE, Costa Rica. E-mail: fcasasol@catie.ac.cr (autor para correspondencia)

² Líder Sublínea Sistemas Silvopastoriles, Departamento de Agroforestería, CATIE. E-mail: mibrahim@catie.ac.cr

³ Consultor Laboratorio Sistemas de Información Geográfica, CATIE, Costa Rica. E-mail: alexgj@catie.ac.cr

⁴ Polígono = Se considera un polígono el área definida dentro de los bordes de una parcela, o la distancia que comprende una línea de árboles en un arreglo silvopastoril (p.ej., cercas vivas o cortinas rompevientos con especies maderables).

laboratorio, mientras que otras variables tales como la topografía del terreno y la altura sobre el nivel del mar se determinan mediante la utilización de instrumentos especializados de medición. Sin embargo, cuando se tiene amplia experiencia y se realizan suficientes observaciones de campo es posible describir las propiedades físicas, químicas, biológicas y morfológicas de los suelos, aún prescindiendo de los instrumentos de medición y de los análisis de laboratorio, lo cual resulta muy práctico cuando se requiere un diagnóstico rápido o los recursos (tiempo y dinero) son limitados.

Con respecto al ganado, se pueden analizar las especies presentes en la finca, la calidad de los animales dentro de su misma especie y su dinámica poblacional tomando en cuenta para ello el peso de los animales, su edad, el sexo y su orientación productiva.

En cuanto a las leñosas perennes, lo que se hace es realizar inventarios en líneas y superficies para conocer la dinámica poblacional por especie o por grupos de especies y el estado de los individuos. En estos inventarios las variables que comúnmente se miden son la altura, el dap (diámetro a la altura del pecho del tallo), el ancho de copa de cada individuo y la riqueza y abundancia que presenta cada especie en un área dada. Es necesario verificar el nombre científico de cada individuo, su familia y los usos que los ganaderos le atribuyen a cada especie.

El componente herbáceo (gramíneas o leguminosas) se determina por medio de muestreos. Los métodos más comunes son el doble muestreo, cuando las pasturas son heterogéneas, y el muestreo directo cuando la pastura es muy homogénea. Mediante estos tipos de muestreos se puede determinar la composición botánica de la pastura, el tipo de pastura (mejoradas o nativas), la producción de materia seca y el vigor de las plantas. Con base en lo anterior, es posible determinar variables más complejas como el grado de degradación de la pastura.

Generalmente los atributos o variables que sirven para clasificar parcelas (polígonos) representativas de sistemas silvopastoriles y su estado pueden ser definidas a partir de pre-muestreos, observaciones de campo o con base en el desarrollo de criterios metodológicos (Di Gregorio y Jansen 2000). Una vez que se conoce cuáles tipos de SSP existen en las fincas ganaderas y el estado

de los componentes, podemos definir los atributos para clasificar los polígonos y dar inicio a la generación de un SIG.

¿CÓMO DESARROLLAR UN SIG A PARTIR DE FOTOGRAFÍAS AÉREAS?

Los pasos metodológicos que aquí se presentan se basan en la utilización de los programas de cómputo PCI⁵ 1996 y ArcView 3,2⁶ 1996. Estos programas son especializados en el campo de los SIG. Para crear un SIG a partir de fotografías aéreas se debe seguir los siguientes pasos:

1. Ubique el área de estudio (piloto, micro-cuenca o cuenca) de manera precisa, definiendo para ello las coordenadas (p.ej., longitud y latitud) y el sistema de proyección de las mismas. Algunos de los sistemas de proyección más utilizados son: Lambert Conformal Cónico, UTM⁷ zona 16 y Geográficas (coordenadas esféricas) entre otras. Un ejemplo de la ubicación de un área de estudio, es un área ganadera en Costa Rica donde se desarrollará parte del proyecto Enfoques Silvopastoriles Integrados para el Manejo de Ecosistemas. Este se ubicará entre las coordenadas del eje X; $X_1= 411.435$ hasta $X_2= 439.670$ y en el eje Y, $Y_1=1.093.286$ hasta $Y_2=1.121.243$ en metros de la proyección CRTM⁸.
2. Revise los materiales disponibles en el área de estudio (p.ej., mapas cartográficos y digitales a diferentes escalas, modelos de elevación digital del terreno, fotografías aéreas, imágenes de satélite) y con base en el tiempo disponible, el presupuesto asignado al estudio y la precisión que se desee alcanzar, consiga los materiales a la escala de mayor detalle disponible en la región.
3. Cuando trabaje con fotografías aéreas, anote los parámetros técnicos de la cámara (distancia focal, marcas fiduciales o esquinas de la foto), escala de la foto, línea de vuelo que llevaba el avión en el momento de tomar la foto, el número de foto y el número de rollo con que se tomó la misma. Cada fotografía aérea dentro del área de estudio seleccionada se debe de escanear a una resolución no menor a 1200 dpi⁹ para obtener imágenes en formato (jpg o tif)¹⁰ con tamaños aproximados a 100 megabytes. Simultáneamente, seleccione o construya un modelo de eleva-

⁵ PCI = Programa especializado para la ortorectificación de fotografías aéreas y procesamiento digital de imágenes de satélite.

⁶ Arc View 3,2 = Programa utilizado para la digitalización, edición y análisis de mapas digitales; es un sistema de información geográfico apto para usuarios no especializados.

⁷ UTM = Universal Transversal de Mercator.

⁸ CRTM = Costa Rica Transversal de Mercator.

⁹ dpi = Puntos por pulgada.

ción digital basado en puntos levantados en el campo mediante técnicas de agrimensura, la captura de datos fotogramétricos (provenientes de la fotografía aérea) y los datos cartográficos digitalizados a la escala más detallada posible (p.ej., las curvas de nivel digitalizadas a partir de un mapa a escala 1:50.000).

4. Mediante el programa PCI cargue las imágenes en formato jpg o tif y transfórmelas a formato pix¹¹. Luego tome el modelo de elevación digital en formato GIS de ERDAS 7,4 y la cobertura de caminos digitalizada a escala 1:25.000 en formato shape¹² de Arc/View 3,2 y a cada foto en el programa PCI asígnele la distancia focal, las marcas de las esquinas de la foto, y la escala a la que fue tomada. Esto prepara la foto y permite ubicar de 10 a 15 puntos de control que presenten estabilidad posicional a través del tiempo (p.ej., intersecciones de caminos). Una vez ubicados los puntos de control, proceda a la rectificación de las fotos para dar origen a una o varias ortofotos. El proceso de ortorectificación busca llevar la imagen pix generada a partir de fotografías aéreas a su relieve real sobre un modelo de elevación, donde las distancias de los objetos, distorsionados por el lente de la cámara y la altitud de la aeronave, son corregidos proporcionalmente con base en los puntos de control. Por otra parte, este proceso busca eliminar los traslapes entre las fotos y generar varios ortomosaicos con todas las fotografías aéreas del área de estudio (Figura 1).

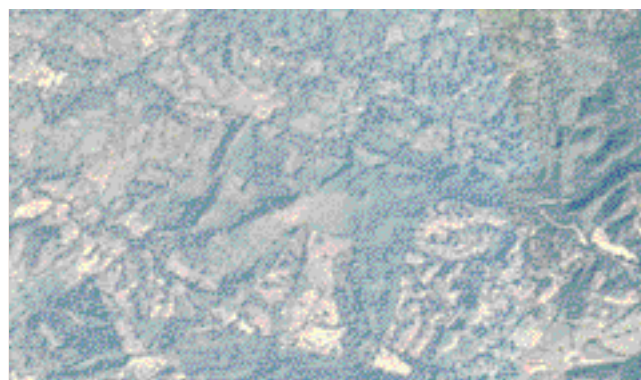


Figura 1. Ortomosaico representativo de parte del área ganadera comprendida por el proyecto Enfoques Silvopastoriles Integrados para el Manejo de Ecosistemas en Costa Rica.

5. Defina las variables o atributos que calificarán a los polígonos dentro de fincas ganaderas dando énfasis a los que permiten distinguir los sistemas silvopastoriles y sus estados. Un ejemplo se presenta en el Cuadro 1, en el cual se crearon atributos para calificar polígonos representativos de SSP y su estado, donde un potrero con alta densidad de árboles dispersos, adultos, se codifica como PADADA.

6. Con los atributos clasificatorios de los polígonos definidos proceda a imprimir en secciones los ortomosaicos representativos de la zona de estudio. Luego recorra el campo y con la ayuda de los productores marque los polígonos y asigne las variables o atributos de los SSP a todas las parcelas de estudio que conforman las fincas. Cuando todos los polígonos

Cuadro 1. Sistemas silvopastoriles, sus componentes, el estado de los mismos y la codificación de los atributos empleados para designar polígonos en fincas ganaderas.

Tipo de SSP o componente	Estado	Variable o atributo *	Unidad de medida
Matorral	Muy degradado	MMD	ha
Cerca viva	Regular	CVR	km
Suelo	Muy degradado	SMD	ha
Pastura de <i>Hyparrhenia rufa</i>	Buena	PHRB	kg MS ha ⁻¹
Potreros con alta densidad de árboles dispersos***	Adultos **	PADADA	Número de árboles
Potreros con baja densidad de árboles dispersos***	Adultos**	PBDADA	Número de árboles

*Se define tomando las letras iniciales de las palabras del SSP o de su componente y las letras iniciales del estado de los mismos; MMD = Matorral muy degradado; CVR = Cerca viva regular; SMD = Suelo muy degradado; PHRB = Pastura de *Hyparrhenia rufa* buena; PADADA = Potreros con alta densidad de árboles dispersos adultos; PBDADA = Potreros con baja densidad de árboles dispersos adultos; ** Adultos = Árboles con un dap > de 10 cm; *** Se considera alta densidad > de 30 árboles ha⁻¹ en estado adulto y baja densidad cuando existen < de 30 árboles ha⁻¹ en estado adulto.

¹⁰ Jpg ó Tif = Extensiones utilizados para identificar archivos de computadora con diferentes formatos de imágenes digitales.

¹¹ Pix = Extensión utilizada por el programa PCI para nombrar sus archivos.

¹² Shape = Formato de los archivos generados por el programa Arc View 3,2.

han sido dibujados sobre las secciones impresas, proceda a digitalizar la información con la función del Arc View 3.2. La digitalización consiste en dibujar los polígonos representativos de cada finca en la pantalla del computador y en asignarles los atributos o variables clasificatorias designadas. Cuando termine este proceso, revise que todos los polígonos hayan sido digitalizados y que cada uno de ellos cuente con sus respectivos atributos, luego guarde el archivo en su computador utilizando la extensión shp del formato "shape", la cual dará origen a una cobertura digital que se encuentra ligada a una base de datos que permitirá ser leída, interpretada y analizada mediante programas tales como excel y Arc View 3.2, entre otros. En este punto podrá generar figuras y describir el estado de los SSP y sus componentes. Cuando genere mapas, adicionalmente podrá describir su localización (Figura 2).

¿PUEDEN LOS SIG GENERADOS A PARTIR DE FOTOGRAFÍAS AÉREAS AYUDAR A DESCRIBIR LOS SSP Y SUS COMPONENTES?

Los SIG basados en fotografías aéreas permiten visualizar con facilidad los SSP y sus componentes. Además mediante éstos, es posible registrar su ubicación y su estado dentro de las fincas ganaderas en diferentes momentos en el tiempo. Estos datos permiten analizar la información, conocer el área que ocupa cada sistema silvopastoril, establecer comparaciones, modelar escenarios, realizar proyecciones, generar índices, nuevas variables e intercambiar información con otras bases de

datos, lo cual hace que los SIG en el campo de los SSP puedan servir no solo para describir los sistemas y sus componentes, sino que pueden ser una importante herramienta para apoyar la toma de decisiones acerca de cuáles SSP o componentes mejorar o implementar y monitorear los resultados de las intervenciones.

¿PRESENTAN LOS SIG GENERADOS A PARTIR DE FOTOGRAFÍAS AÉREAS DESVENTAJAS?

La principal limitante de los SIG desarrollados con base en fotografías aéreas, es que en ocasiones no se dispone de las mismas para la zona de estudio. Además, el equipo y los programas que se requiere para desarrollarlos son costosos y se necesita de personal altamente capacitado para operarlos.

BIBLIOGRAFÍA CITADA

- Aronoff, S. 1993. Geographic information systems: a management perspective. Ottawa, Ontario. WDL Publications. 88 p.
- Di Gregorio, A; Jansen, L. 2000. Land cover classification system: classification concepts and user manual. Roma, FAO. 179 p.
- Ibrahim, M; Camero, A; Pezo, D; Esquivel, J. 1998. Sistemas silvopastoriles. In Apuntes de clase del curso corto: Sistemas Agroforestales. Eds. Francisco Jiménez y Arturo Vargas. Turrialba, Costa Rica, CATIE. p. 289 - 336. (Serie Técnica. Manual Técnico No. 32).
- Kaimowitz, D. 1996. Livestock and deforestation; Central America in the 80s and 90s; a police perspective. Jakarta, Indonesia, CIFOR. 88 p. (CIFOR. Special Publication No. 40).
- Pezo, D; Ibrahim, M. 1996. Sistemas silvopastoriles: una opción para el uso sostenible de la tierra en sistemas ganaderos. In 1er. Foro Internacional sobre "Pastoreo Intensivo en Zonas Tropicales". Veracruz, México, 7 - 9 noviembre 1996. Morelia, México. FIRA - Banco de México. 39 p.



MMD = Matorral muy degradado; CVR = Cerca viva regular; PHRB = Pastura de Hyparrhenia rufa buena; PADADA = Potreros con alta densidad de árboles dispersos adultos.

Figura 2. Sistemas silvopastoriles presentes en una finca ganadera, sus estados, dimensiones y unidades de medición.