

# Modelaje participativo del impacto de los árboles en la productividad de las fincas y la biodiversidad regional en paisajes fragmentados en América Central

Lorraine H.L. Gormley<sup>1</sup>; Fergus L. Sinclair<sup>1</sup>

**Palabras claves:** SIG; Simile; simulación; talleres participativos.

## RESUMEN

Los árboles son elementos importantes de los paisajes tropicales fragmentados en términos de biodiversidad y de la productividad de las fincas. El modelaje participativo está siendo implementado dentro del Proyecto FRAGMENT para examinar el papel de los árboles en paisajes agropecuarios contrastantes (dominados por pasturas) de América Central. Se han realizado talleres con los productores en Costa Rica y en Nicaragua para guiar el proceso del modelaje. Se combina un análisis espacial de biodiversidad a través del paisaje, utilizando sistemas de información geográfica, con sistemas dinámicos de modelaje de cambios de cobertura arbórea, mediante el programa de simulación de modelaje "Simile", que contiene una interfase diagramática intuitiva para el usuario. Se desarrolló el marco básico del modelaje y un modelo inicial de biodiversidad de aves. El proceso del modelaje y los modelos resultantes asistirán a los productores, personas involucradas en la toma de decisiones y otros actores en la planificación y manejo de árboles en el paisaje, de manera que haya un balance entre los objetivos productivos y los de conservación.

**Participative modeling of the impact of trees on farm productivity and regional biodiversity in fragmented landscapes in Central America**

**Key words:** GIS; participatory workshops; Simile; simulation.

## ABSTRACT

Trees are important elements of fragmented tropical landscapes in terms of both biodiversity and farm productivity. Participatory modeling is being implemented within the FRAGMENT project to examine the role of trees in contrasting Central American agricultural landscapes dominated by pastures. Stakeholder workshops were held in both Costa Rica and Nicaragua to guide the modeling process. Spatially-based analysis of biodiversity across the landscape using geographic information systems is combined with system dynamics modeling of changes in the tree cover using a simulation modeling environment, Simile, which has an intuitive diagrammatic user interface. The basic modeling framework and an initial bird biodiversity model have been developed. The modeling process and resulting models will assist farmers, policymakers and other stakeholders in planning and management of trees in the landscape, including making explicit trade-offs amongst production and conservation objectives.

## INTRODUCCIÓN

Los árboles son un componente vital del paisaje contemporáneo de muchas partes de América Central. Paisajes antaño boscosos han sido transformados en pasturas y cultivos, principalmente, intercalados con parches de cobertura arbórea de tamaño y densidad variados. Dentro de estos paisajes, la presencia de árboles es importante no solamente para la productividad de la finca

sino también para mantener la biodiversidad (Betancourt *et al.* 2003, Villanueva *et al.* 2003). A lo largo de estos paisajes se encuentran árboles en cercas vivas, dispersos en potreros, en parches de bosque secundario y, generalmente, en estrechas franjas de bosque ripario. Dependiendo de la situación socioeconómica de un área, los árboles pueden ser utilizados para leña, postes,

<sup>1</sup> School of Agricultural and Forest Sciences, University of Wales, Bangor, Wales, UK. Correos electrónicos: l.gormley@bangor.ac.uk (autor para correspondencia); f.l.sinclair@bangor.ac.uk

material de construcción, frutos y follaje, a la vez que proveen servicios tales como sombra para el ganado y protección de las cuencas. La manera en que se manejan los árboles influye tanto en su utilidad como en su conservación y la de la biodiversidad asociada. Por lo tanto, es importante conocer todos los vínculos entre las actividades y decisiones de los productores y los cambios resultantes en la cobertura arbórea y su biodiversidad asociada.

Este documento examina el uso del modelaje participativo en la toma de decisiones sobre el manejo de los árboles y su impacto sobre la biodiversidad, y describe un nuevo enfoque para relacionar las actividades humanas con la conservación de la misma.

### MODELAJE

Un modelo es una representación simplificada de un sistema real; en muchas situaciones, es más fácil trabajar con modelos que con sistemas reales. La ciencia ha diseñado y aplicado modelos durante siglos, pero los modelos matemáticos de sistemas medioambientales se han ido desarrollando tan solo en las últimas décadas. Los modelos de simulación matemática utilizan ecuaciones para representar las conexiones en un sistema. Hoy en día, la mayoría de los modelos son implementados como programas de cómputo. La técnica de modelaje representada en este artículo utiliza el Simile, un programa visual de modelaje desarrollado para facilitar la creación de modelos de simulación agroecológica (Muetzelfeldt y Massheder 2003). El Simile combina el modelaje de las dinámicas del sistema (fluidez del compartimento) con las herramientas basadas en objetos. El sistema permite al usuario desarrollar un modelo utilizando convenciones diagramáticas intuitivas, matemáticamente simples, que luego la computadora procesa según un código informático, de tal manera que pueda ejecutarse como una simulación. Se provee una interfase personalizada que permite a los usuarios cambiar los parámetros y ver los resultados.

En el campo de los recursos naturales, a menudo los modelos se desarrollan para ayudar a la comprensión del funcionamiento de los sistemas naturales y visualizar cómo pueden comportarse en el futuro (Standagunda *et al.* 2003). Estos modelos se pueden diseminar entre los encargados de los recursos naturales, los decisores y los productores locales. Sin embargo, una revisión de los modelos de producción y crecimiento de las cosechas demuestra que, aunque muchos de ellos han sido útiles para los investigadores que los desarrollaron, pocos han sido utilizados para apoyar el desarrollo de

políticas o para mejorar la toma de decisiones (Matthews *et al.* 2000). Para mejorar el resultado de los modelos de recursos naturales como herramientas en la toma de decisiones, resulta esencial la consulta con los actores involucrados, tanto durante las etapas iniciales del desarrollo del modelo como durante el resto del proceso.

### TALLERES CON PRODUCTORES PARA DEFINIR LOS INDICADORES A ESCALA DE PAISAJE

El modelaje participativo se está emprendiendo como parte del Proyecto FRAGMENT, realizado en colaboración con la Comunidad Europea, en cuatro paisajes fragmentados de América Central. El trabajo inicial se ha centrado en dos de estos paisajes: uno en Rivas, al sureste de Nicaragua, y otro en Cañas, al noreste de Costa Rica. En cada una de estas áreas de estudio, se mantuvieron talleres con los actores para identificar los indicadores de productividad y de conservación importantes para ellos.

La primera etapa en el desarrollo de los modelos participativos a escala del paisaje implica definir lo que los diferentes productores piensan sobre lo que el paisaje debe aportar; esto incluye aspectos como los modos de vida de las fincas, la belleza escénica, la retención del agua, el empleo y el hábitat para la vida silvestre. Estos beneficios se pueden dividir en dos categorías importantes: mercancías productivas de valor económico directo y servicios ambientales. Esta lista inicial de mercancías productivas y servicios ambientales se traduce luego en un conjunto de indicadores mesurables; los participantes consideran cuáles son los actuales (la línea base), deseables (las metas) y críticos (los límites).

Los indicadores cuantitativos y cualitativos pueden ser definidos en las escalas relevantes en las cuales se toman las decisiones sobre el cambio en el uso del suelo, —como fincas o campos— o a escalas en las cuales se manifiestan los impactos ambientales —como economías o hábitats de cuencas, pendientes y valles—. Se exploran entonces las maneras apropiadas de visualizar estos indicadores como resultados de un modelo, las cuales pueden incluir desde gráficos simples o juegos de números tabulados, hasta mapas sofisticados o vistas de paisajes tridimensionales interactivos. En esta etapa, se define la forma del resultado que se requiere de un modelo de simulación del paisaje para indicadores importantes para toda la comunidad de productores.

Los talleres en Rivas y Cañas se organizaron en una serie de pequeños grupos participativos y discusiones plenarios, respaldados por una base de datos, materiales

ilustrativos (afiches y mapas) del área, y simulaciones en la computadora de otros paisajes para ilustrar los diferentes tipos de resultados del modelo.

Los resultados de los talleres revelaron diferencias importantes entre las prioridades de los productores locales y los indicadores de producción y funcionamiento de las fincas, así como entre el paisaje más amplio de Cañas (Costa Rica) y Rivas (Nicaragua). Los productores y propietarios en Cañas dieron más importancia a la producción de carne vacuna que a la de leche. Generalmente, estos productores no utilizan sus fincas para obtener otros productos, aunque la provisión de los servicios ambientales (conservación del suelo, conservación para el futuro y ecoturismo) fue mencionada por muchos de ellos. En Rivas, los productores y propietarios identificaron una mayor diversidad de productos que requieren de sus fincas, desde carne, leche y cultivos de subsistencia hasta leña y madera. Identificaron también una variedad de servicios ambientales como funciones importantes del paisaje, incluyendo la conservación del agua, la calidad del aire y la presencia de animales silvestres.

Estos descubrimientos han sido utilizados para guiar la construcción de modelos en el nivel de paisaje. Así, en este artículo se explora el impacto de la cobertura arbórea en la producción de bienes y servicios ambientales en las dos áreas contrastantes, desde el punto de vista socioeconómico.

### DESARROLLO DEL MODELO

Los paisajes tropicales fragmentados no constituyen áreas continuas de un solo tipo de cobertura de suelo.

Procesos dinámicos —como las prácticas agrícolas, cambios en el uso de la tierra y la caída de árboles— alteran y fragmentan progresivamente la cobertura del terreno, de tal manera que los patrones resultantes influyen en las funciones de los ecosistemas. Las características del paisaje —como las cercas vivas, el bosque ripario y los caminos— pueden impedir o facilitar la fluidez de materiales claves como son el suelo o el agua, y de organismos como las personas u otros elementos de la naturaleza biótica. El arreglo espacial y la magnitud de la cobertura arbórea son importantes cuando se considera el flujo de materiales claves y organismos a través de los paisajes.

El modelo integrado final de los aspectos biofísicos y sociales en el Proyecto FRAGMENT involucra una combinación de análisis espaciales de biodiversidad implementados en ArcGIS (ESRI), un sistema de información geográfica (SIG), con un modelo de dinámicas del sistema en Simile. Los atributos de biodiversidad para cada parcela son introducidos en el SIG y pasados por el modelo de dinámicas del sistema en Simile, que luego simula las acciones de las personas y la manera en que estas afectan la cobertura arbórea, y recopila la información de la productividad y biodiversidad en una serie de indicadores (Figura 1). Este marco del modelaje se basa en los datos sobre biodiversidad espacialmente referenciada del Proyecto FRAGMENT, que requiere del diseño de un vínculo dinámico entre ArcGIS (ESRI) y Simile para facilitar el paso de la información entre los dos sistemas de cómputo (Simulistics 2003).

El desarrollo inicial se ha enfocado en la parte biofísica del modelo, especialmente en los efectos de la cobertu-

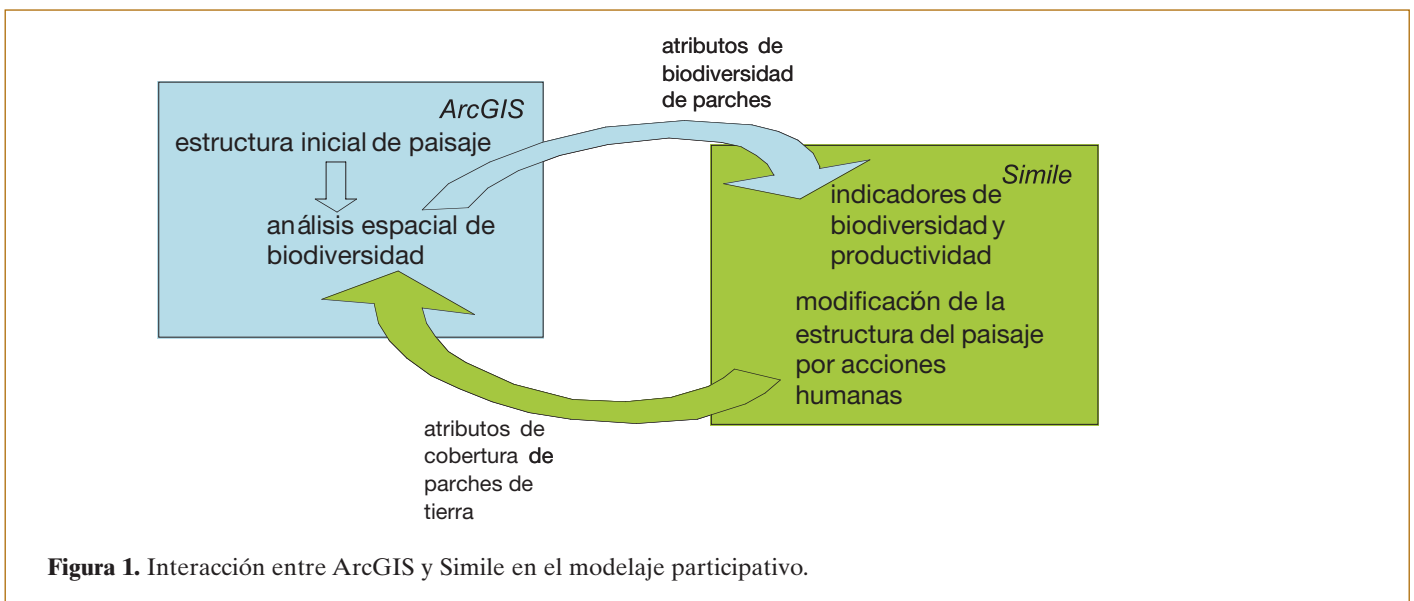


Figura 1. Interacción entre ArcGIS y Simile en el modelaje participativo.

ra arbórea sobre varios elementos de la biodiversidad. El submodelo de biodiversidad preparado por el Proyecto FRAGMENT utiliza la información recopilada sobre murciélagos, aves, mariposas y escarabajos estercoleros. La discusión con los colaboradores, dados los resultados de las muestras de biodiversidad, indica algunas características importantes del hábitat para la misma (Cuadro 1).

La estructura básica del modelo de dinámicas del sistema en Simile presenta los submodelos de finca, parcela y hábitat y las relaciones entre ellos a través de los submodelos de ocupación y asociación de contigüidad (Figura 2). Inicialmente, la biodiversidad para cada parcela se calcula para cada paisaje desde un análisis espacial de la cobertura del suelo y sus características. Aunque el tipo de cobertura del suelo es la primera determinante

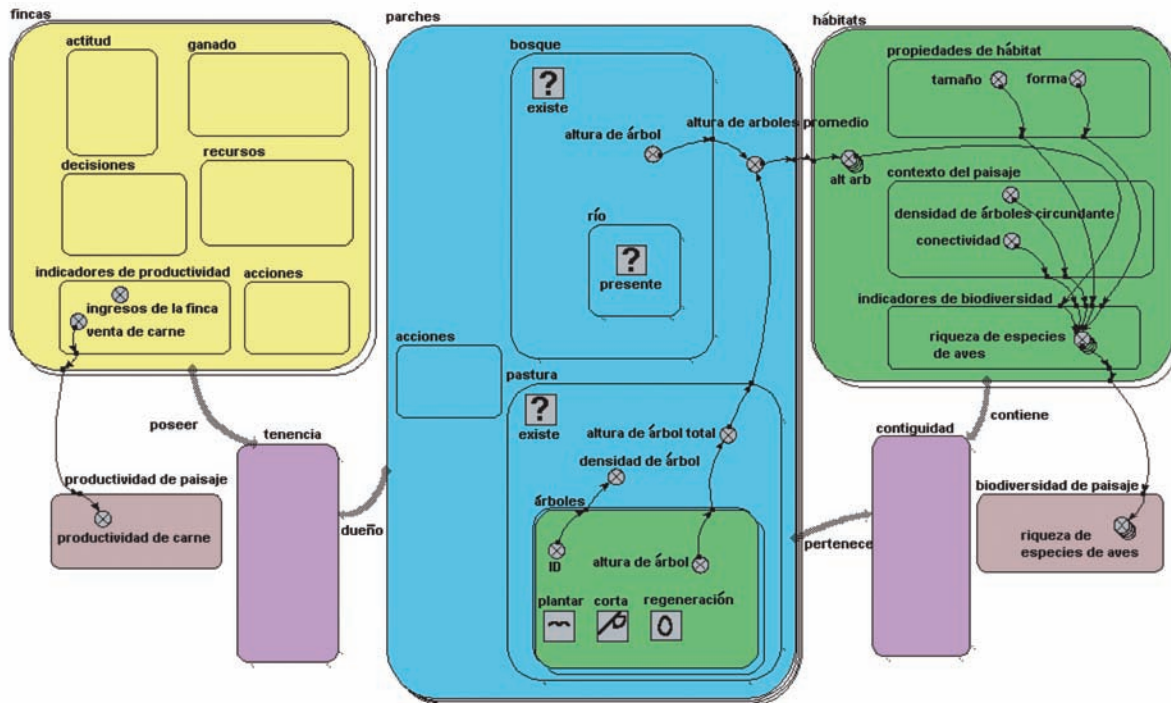
de la biodiversidad, esto puede ser modificado para cualquier parcela específica, de acuerdo con las características del hábitat, tales como su altura o la densidad de los árboles. Por ejemplo, una versión inicial del submodelo de la biodiversidad de aves explora cómo las variables de árboles, hábitat y paisaje influyen en la biodiversidad en dos tipos de cobertura de suelo (bosque y pastura) (Figuras 2 y 3). Los submodelos pueden ser sustituidos utilizando la herramienta *plug and play* (“conectar y jugar”) en Simile, de manera que se puedan comparar fórmulas alternativas del modelo mientras el proyecto tiene lugar, para obtener las diferentes formas de representar el sistema.

El próximo paso en el proceso de modelaje consiste en afinar la parte biofísica del modelo para incorporar todos los usos de tierra muestreados en el Proyecto

**Cuadro 1.** La importancia de las características de diferentes hábitats para muestrear grupos de biodiversidad en paisajes fragmentados de Rivas y Cañas, Costa Rica.

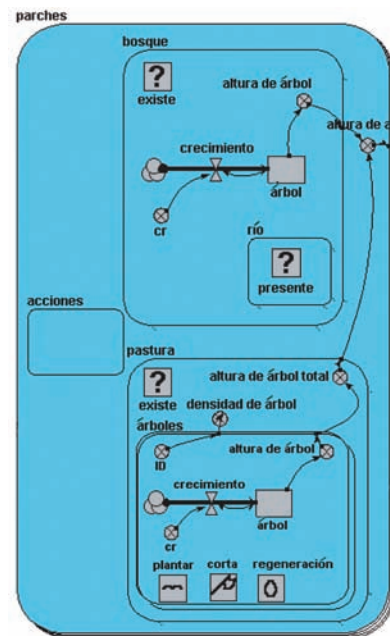
Hábitat	Grupo			
	Aves	Murciélagos	Escarabajos estercoleros	Mariposas
<b>Bosque ripario</b>	Presencia de agua Disponibilidad de sitios de descanso Disponibilidad de frutos	Presencia de agua Disponibilidad de sitios para pasar la noche Disponibilidad de frutos	Presencia de agua Condiciones microclimáticas (sombra/humedad) Presencia de escarabajos (silvestres/domésticos)	Presencia de agua Presencia de plantas en flor Disponibilidad de frutos
<b>Bosque secundario</b>	Disponibilidad de sitios de descanso Disponibilidad de frutos	Disponibilidad de sitios para pasar la noche Disponibilidad de frutos	Condiciones microclimáticas (sombra/humedad) Presencia de escarabajos (silvestres/domésticos)	Presencia de plantas en flor Disponibilidad de frutos
<b>Charral</b>	Disponibilidad de sitios de descanso Disponibilidad de frutos	Disponibilidad de sitios para pasar la noche Disponibilidad de frutos	Condiciones microclimáticas (sombra/humedad) Presencia de escarabajos (silvestres/domésticos)	Presencia de plantas en flor Disponibilidad de frutos
<b>Cerca viva</b>	Disponibilidad de sitios de descanso Disponibilidad de frutos Composición de especies (plantadas vs. regeneración)	Disponibilidad de sitios para pasar la noche Disponibilidad de frutos Composición de especies (plantadas vs. regeneración)	Condiciones microclimáticas (sombra/humedad) Presencia de escarabajos (silvestres/domésticos) Composición de especies (plantadas vs. regeneración)	Presencia de plantas en flor Disponibilidad de frutos Composición de especies (plantadas vs. regeneración)
<b>Pasturas con alta cobertura arbórea</b>	Disponibilidad de sitios de descanso Disponibilidad de frutos	Disponibilidad de sitios para pasar la noche Disponibilidad de frutos	Condiciones microclimáticas (sombra/humedad) Presencia de escarabajos (silvestres/domésticos)	Presencia de plantas en flor Disponibilidad de frutos
<b>Pasturas con baja cobertura arbórea</b>	Disponibilidad de sitios de descanso Disponibilidad de frutos	Disponibilidad de frutos	Condiciones microclimáticas (sombra/humedad) Presencia de escarabajos (silvestres/domésticos)	Presencia de plantas en flor Disponibilidad de frutos

Los hábitats enumerados son hábitats/uso de suelo muestreados como parte del Proyecto FRAGMENT.



**Figura 2.** Estructura del modelo integrado mostrando los submodelos principales de finca, parcela (parches) y hábitat. Para propósitos ilustrativos, solo se incluyen algunas pocas variables y flechas de influencia, que demuestran el tipo de relaciones involucradas (por ejemplo, altura de árbol y biodiversidad de aves).

FRAGMENT (bosque ripario, bosque secundario, charral, cercas vivas y pasturas con diferente cobertura arbórea) para todos los grupos de organismos muestreados (murciélagos, escarabajos, aves y mariposas). También se ha progresado en el desarrollo del submodelo de finca, al formalizar las decisiones de los productores que afectan la cobertura arbórea usando estadísticas de pensamiento bayesiano. Se han explorado los eventos claves observados en el monitoreo de las fincas que han cambiado la cobertura arbórea, tales como la tala de árboles, el control de malezas y la quema. Para cada evento, los productores han sido entrevistados para determinar cómo deciden actuar. Sus respuestas fueron luego representadas como árboles de decisiones cualitativas y modelos combinados de decisiones similares y luego cuantificados como redes de probabilidades. Estos modelos serán combinados con los submodelos para recursos y actitudes de la familia para modelar cómo los productores toman decisiones que afectan la cobertura arbórea. El siguiente paso será crear modelos de producción que se vinculen con los datos de biodiversidad y cobertura arbórea.



**Figura 3.** Estructura del submodelo parcelas (parches), mostrando la simulación del crecimiento de los árboles mediante la metodología del flujo de componentes en los submodelos del bosque y pastura. Estas variables son vinculadas luego al submodelo de hábitats para investigar la biodiversidad de aves.

## AGRADECIMIENTOS

Los datos de biodiversidad fueron recolectados por la Fundación Cocibolca, Nicaragua, y la Universidad Nacional, Costa Rica. Los datos de SIG fueron procesados por la Universidad de Göttingen, Alemania, y comprobados por el Centro Agronómico Tropical de Investigación y Enseñanza (CATIE, Sede Central) y Nitlapán – UCA, Nicaragua, como parte del proyecto FRAGMENT.

La información sobre el ambiente de modelaje Simile puede encontrarse en la página [www.simulistics.com](http://www.simulistics.com). Se agradece a Patricia Hernández la traducción de este artículo.

Esta investigación se realizó como parte del proyecto FRAGMENT (“Developing Methods and Models for Assessing the Impacts of Trees on Farm Productivity and Regional Biodiversity in Fragmented Landscapes”), financiado por el European Community Fifth Framework Programme (INCO-Dev ICA4-CT-2001-10099). Los autores son responsables del material reportado en este trabajo; esta publicación no representa la opinión de la Comunidad Europea y la Comunidad Europea no es responsable del uso de los datos que aquí aparecen.

## BIBLIOGRAFÍA CITADA

- Betancourt, K; Ibrahim, M; Harvey, CA; Vargas, B. 2004. Efecto de la cobertura arbórea sobre el comportamiento animal en fincas ganaderas de doble propósito en Matiguás, Matagalpa, Nicaragua. *Agroforestería en las Américas* 10(39-40).
- Matthews, R; Stephens, W; Hess, T; Mason, T; Graves, A. 2000. Applications of crop/soil simulation models in developing countries. Report PD 82, Institute of Water and Environment, Bedfordshire, UK, Cranfield University. 304 p.
- Muetzelfeldt, R; Massheder, J. 2003. The Simile visual modelling environment. *European Journal of Agronomy* 18: 345-358.
- Simulistics. 2003. Disponible en <http://www.simulistics.com>.
- Standa-Gunda, W; Mutimukuru, T; Nyirenda, R; Haggith, M; Vanclay, JK. 2003. Participatory modelling to enhance social learning, collective action and mobilization among users of the Mafungautsi Forest, Zimbabwe. *Small-scale Forest Economics, Management and Policy* 2(2): 313-326.
- Villanueva, C; Ibrahim, M; Harvey, C; Esquivel, H. 2004. Tipologías de fincas con ganadería bovina y cobertura arbórea en pasturas en el trópico seco de Costa Rica. *Agroforestería en las Américas* 10(39-40).