



CENTRO AGRONÓMICO TROPICAL
DE INVESTIGACIÓN Y ENSEÑANZA

ESCUELA DE POSGRADO

**Impacto del arreglo espacial del componente arbóreo en sistemas
silvopastoriles sobre el nivel de sombreado y la conectividad
estructural de los paisajes en los municipios de Belén y Matiguás,
Nicaragua**

por

Mayra Saucedo Olivera

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

Magister Scientiae en Agroforestería Tropical

Turrialba, Costa Rica, 2010

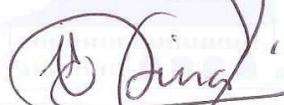
Esta tesis ha sido aceptada en su presente forma por la División de Educación y la Escuela de Posgrado del CATIE y aprobada por el Comité Consejero del Estudiante como requisito parcial para optar por el grado de:

MAGISTER SCIENTIAE EN AGROFORESTERÍA TROPICAL

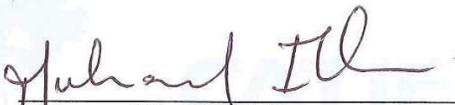
FIRMANTES:



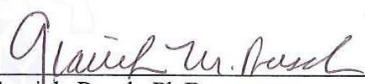
Fabrice De Clerck, Ph.D.
Consejero Principal



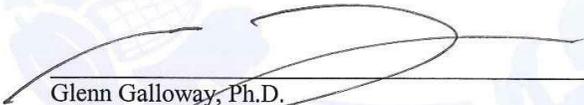
Cristóbal Villanueva, M.Sc.
Miembro Comité Consejero



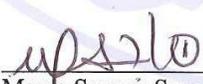
Muhammad Ibrahim, Ph.D.
Miembro Comité Consejero



Graciela Rusch, Ph.D.
Miembro Comité Consejero



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



Mayra Suyapa Saucedo Olivera
Candidata

DEDICATORIA

*A una persona muy especial... mi niño, mi tesoro,
por ser la luz de mi inspiración y por estar siempre
a mi lado y compartir malos y buenos momentos.*

I love you !!!

AGRADECIMIENTOS

Al Banco Mundial, por brindarme la oportunidad de realizar y finalizar mis estudios de maestría, gracias por el financiamiento a lo largo de estos dos años y poder cumplir mi meta.

Al proyecto SILPAS por el apoyo brindado y facilitado información en la parte de campo (gracias Marlon y Dalia).

A Fabrice DeClerck (profesor consejero) por su valiosa colaboración y disponibilidad a lo largo de este proceso. Muchas gracias!!!.

Al Dr. Muhammad Ibrahim, a la Dra. Graciela Rusch, al MSc. Cristóbal Villanueva; miembros del comité, por su colaboración en esta investigación. Graciela, muchísimas gracias por sus valiosos aportes en la redacción y revisión del documento de tesis.

A los señores propietarios de las fincas en las cuales se realizó el estudio (Matiguás y Belén).

A los compañeros de mi promoción 2008_2009 y en especial a mis paisan@s Nicas por los momentos compartidos durante la estadía en CATIE.

A los amigos en CATIE y todas aquellas personas que pusieron un granito de arena para que este trabajo fuese posible y en especial a Sergio, Christian y Natalia, muchísimas gracias por su apoyo y aportes tan valiosos. También a Amada; gracias por tus aportes y consejos, y a Piedad (Piedecilla) por colaborarme siempre.

A Rosita, muchísimas gracias por sus consejos y motivaciones. Siempre le recordaré. Mil gracias!!!

A mis amores; Nelson, tu apoyo incondicional y consejos me sirvió de mucho para finalizar este proyecto y a mi chiquitín; Luis Noé, tu compañía fue muy importante. Los Amo!! A mi madre; gracias por ayudarme con mi chiquitín y a un ser especial; Dios, por ser la luz en mi camino.

CONTENIDO

DEDICATORIA	III
AGRADECIMIENTOS	IV
CONTENIDO	V
RESUMEN	VIII
SUMMARY	IX
ÍNDICE DE CUADROS	X
ÍNDICE DE FIGURAS	XI
LISTA DE UNIDADES, ABREVIATURAS Y SIGLAS.....	XII
1 INTRODUCCIÓN	1
1.1 Objetivos del estudio.....	2
1.1.1 Objetivo general.....	2
1.1.2 Objetivos específicos	2
1.2 Hipótesis del estudio	2
2 MARCO CONCEPTUAL.....	3
2.1 Sistemas silvopastoriles	3
2.1.1 Decisiones de los productores para el establecimiento de SSP	3
2.2 Importancia de la cobertura arbórea.....	5
2.2.1 Contribución de los SSP a la conservación.....	5
2.2.2 Árboles dispersos en potreros	6
2.2.3 Cercas vivas	7
2.3 Efecto del componente arbóreo en pasturas.....	7
2.3.1 Influencia de la sombra de los árboles en las características de las pasturas.....	9
2.4 Caracterización del paisaje.....	10
2.4.1 Estructura	11
2.4.2 Composición	11
2.4.3 Conectividad	12
2.5 Ecología de paisajes.....	12
2.5.1 Escala de paisajes.....	13
2.6 Sistemas de información geográfica aplicados en análisis de paisajes.....	13
3 Bibliografía.....	15
4 Artículo 1. Caracterización de la estructura y la composición de los paisajes agropecuarios de Belén y Matiguás, Nicaragua	19
4.1 Introducción	19
4.2 Materiales y métodos	20
4.2.1 Sitio de estudio.....	20
4.3 OE1. Comparación de la distribución espacial de los SSP	21

4.3.1	Caracterización del paisaje.....	21
4.3.2	Análisis de uso del suelo por formas de relieve.....	25
4.3.3	Análisis de métricas de paisaje	26
4.4	Resultados y discusión	27
4.4.1	Comparación de la distribución espacial de los SSP	27
4.4.1.1	Caracterización del paisaje.....	27
4.4.2	Análisis de tipos de uso del suelo y formas de relieve.....	28
4.4.3	Análisis de métricas de paisaje	29
4.5	Conclusiones y recomendaciones	32
4.5.1	Recomendaciones.....	32
4.6	Bibliografía	33
5	Artículo 2. Patrones espaciales del sombreado de la cobertura arbórea en SSP presentes en paisajes agropecuarios de Matiguás y Belén, Nicaragua	36
5.1	Introducción	36
5.2	Materiales y métodos	38
5.2.1	Sitio de estudio.....	38
5.2.2	OE2. Modelación del nivel de sombreado de la cobertura arbórea en los SSP	39
5.2.2.1	Obtención de datos.....	39
5.2.3	Caracterización de los potreros en función del componente arbóreo.....	39
5.2.4	Modelación de sombra de árboles en potreros	41
5.3	Resultados y discusión.....	44
5.3.1	OE2. Modelación del nivel de sombreado de la cobertura arbórea	44
5.3.1.1	Caracterización de los potreros en función del componente arbóreo	44
5.3.1.1.1	Árboles en potreros	44
5.3.1.1.2	Cobertura arbórea.....	45
5.3.1.1.3	Densidad arbórea.....	46
5.3.2	Modelación de sombra de árboles en potreros.....	47
5.3.2.1	Simulación de escenarios de sombra de árboles en potreros	47
5.3.2.1.1	Opacidad de copas con 100%	47
5.3.2.1.2	Variaciones de sombreado	47
5.3.2.2	Simulación de escenarios de sombra de árboles más cercas vivas	51
5.3.2.2.1	Opacidad de copas con 100%	51
5.3.2.2.2	Variaciones de sombreado	51
5.3.2.3	Patrones de sombra generados en Shademotion	52
5.4	Conclusiones y Recomendaciones	54
5.4.1	Recomendaciones.....	54
5.5	Bibliografía	55
	ANEXOS	58

6 Artículo 3. Efecto de los arreglos espaciales en SSP y del aporte de la cobertura arbórea a la conectividad estructural en paisajes agropecuarios de Matiguás y Belén, Nicaragua	72
6.1 Introducción	72
6.2 Materiales y métodos	73
6.2.1 Sitio de estudio	73
6.2.2 Modelación de arreglos espaciales y densidades arbóreas.....	74
6.2.2.1 Arreglo espacial	74
6.2.2.2 Densidad arbórea y arreglo	76
6.2.3 OE3. Conectividad estructural	77
6.2.3.1 Método para caracterizar la estructura, composición y conectividad estructural en los potreros	77
6.2.3.2 Análisis de métricas	77
6.2.3.3 Simulación de densidades arbóreas en arreglos espaciales de árboles en potreros.....	79
6.2.3.4 Índice de percolación	80
6.3 Resultados y discusión	81
6.3.1 Modelación de arreglos espaciales y densidades arbóreas.....	81
6.3.1.1 Arreglos espaciales.....	81
6.3.1.2 Densidad arbórea y arreglos espaciales.....	83
6.3.1.3 Área de sombra en la simulación de potreros con diferentes densidades arbóreas y arreglos espaciales	83
6.3.1.4 Área de copa en la simulación de potreros con diferentes densidades arbóreas y arreglos espaciales	84
6.3.2 Conectividad estructural.....	84
6.3.2.1 Análisis de métricas	84
6.3.2.1.1 Arreglos espaciales y densidad arbórea	84
6.3.2.2 Simulaciones de densidades arbóreas en arreglos espaciales	85
6.3.2.2.1 Área de copa y área de sombra.....	85
6.3.2.3 Índice de percolación	86
6.3.2.3.1 Relación entre la densidad arbórea, el área de sombra y el índice de percolación	87
6.4 Conclusiones y Recomendaciones	89
6.4.1 Recomendaciones.....	89
6.5 Bibliografía	90
ANEXOS	93

RESUMEN

Estudios anteriores han caracterizado algunos aspectos de los árboles dispersos en potreros y de las cercas vivas de los sistemas silvopastoriles en Nicaragua, pero aún falta avanzar en el conocimiento sobre el arreglo espacial de los árboles y su efecto sobre la sombra que producen, así como determinar la relación entre la cobertura arbórea y la conectividad estructural en los potreros. En este estudio se caracterizó el componente arbóreo de 64 potreros y se simuló, por medio de modelos el impacto de la sombra de los árboles bajo distintos arreglos espaciales y diferentes densidades arbóreas con el fin de evaluar el efecto de estas características de la cobertura arbórea sobre el nivel de sombreado de las pasturas y sobre la conectividad estructural en los paisajes ganaderos de los municipios de Belén y Matiguás. Se utilizaron diferentes programas (ArcGis 9.3, Shademotion, Fragstats, Infostat) para el análisis del paisaje. La distribución espacial de los árboles fue simulada en tres arreglos espaciales (agrupado, regular y aleatorio) con diferentes densidades arbóreas. En Matiguás, se registraron alrededor de 2198 árboles de 26 familias y 61 especies en 44 potreros. En Belén, se registraron 613 árboles de 21 familias y 45 especies en 17 potreros. Entre las especies más abundantes se encontraron; *Guazuma ulmifolia*, *Enterolobium cyclocarpum*, *Cordia alliodora* y *Tabebuia rosea*. En el muestreo realizado en las cercas vivas se encontraron 885 individuos en 6234 m de cerca (662 árboles de 14 familias y 30 especies en Matiguás y 223 árboles de 18 familias y 30 especies en Belén). La distribución de árboles en los potreros fue mayormente aleatoria y regular. El porcentaje de cobertura arbórea promedio en Matiguás fue de 16.21% (± 1.67) y de 12% (± 1.19) en Belén. La densidad promedio en Matiguás fue 21.7 árboles ha^{-1} , y en Belén de 13.48 árboles ha^{-1} . La simulación de la cantidad de sombra proyectada por las copas de árboles con el 100% y con el 30, 50 y 60% de opacidad no mostró diferencias significativas ($p > 0.05$). Sin embargo, al simular el arreglo espacial y la densidad arbórea, el área de sombra fue mayor en los potreros con densidades entre 22 y 16 árboles ha^{-1} , y cuando los árboles tenían una distribución regular o aleatoria. En los potreros que presentaron densidades arbóreas > 20 árboles ha^{-1} , se obtuvo el 100% de percolación, cuando la distribución de los árboles fue regular. Sin embargo, cuando la distribución fue agrupada, el 100% de percolación se obtuvo a densidades > 30 árboles ha^{-1} . Se concluye que a densidades arbóreas > 30 árboles ha^{-1} el índice de conectividad será mayor, pero aumentará el grado de sombreado, lo que puede influir negativamente en la productividad de las pasturas.

Palabras clave: Sistemas silvopastoriles, árboles en potreros, cercas vivas, simulación, densidad de árboles, sombreado, arreglos espaciales, conectividad.

SUMMARY

Previous studies have characterized some aspects of scattered trees in pastures and live fences in silvopastoral systems in Nicaragua, but there is still a need to advance knowledge on effect of the density and spatial arrangement of trees on the amount of shading cast by those trees and on biological connectivity. In this study I characterized the tree component of 64 paddocks and simulated using the effect of the shade cast by the trees under different spatial arrangements and densities. I used ArcGIS 9.3, Shademotion, Fragstats, and Infostat to analyse of both the landscapes and pastures. The spatial distribution of trees was simulated in three spatial arrangements (clustered, regular and random) with different tree densities. In Matiguás, there were approximately 2198 trees of 26 families and 61 species in 44 paddocks. In Belén, we measured 613 trees of 21 families and 45 species in 17 paddocks. Among the most abundant species we found: *Guazuma ulmifolia*, *Enterolobium cyclocarpum*, *Cordia alliodora* and *Tabebuia rosea*. In live fences I measured 885 individuals in 6234 m of fencing about (662 trees from 14 families and 30 species in Matiguas and 223 trees from 18 families and 30 species in Belén). The distribution of trees in the pasture was mostly random and regular with very few pastures displaying a clustered distribution. The tree cover in Matiguás averaged 16.21% (± 1.67) and 12% (± 1.19) in Belén. Matiguás pastures contained 21.7 trees ha⁻¹ on average with 1348 trees ha⁻¹ in Belen. The simulation of the shadow cast by species with crowns that with 30, 50, 60 and 100% opacity showed no significant differences ($p > 0.05$). However, the simulation of different tree spatial arrangements and densities showed greater shade cover in pastures with densities between 16 and 22 trees ha⁻¹, and when the trees had a regularly or randomly distributed. Connectivity was found in pastures with tree densities >20 trees ha⁻¹ and with a regular distribution. When the distribution was grouped, 100% of percolation was obtained at densities >30 trees ha⁻¹. I conclude that when tree densities are > 30 trees ha⁻¹, connectivity will be higher, but also the degree of shading, which can adversely affect the productivity of the pastures.

Keywords: silvopastoral systems, scattered trees in pastures, live fences, simulation, density of trees, shading, spatial arrangement and connectivity.

ÍNDICE DE CUADROS

Cuadro 1. Porcentaje de tierra bajo diferentes usos de suelo en Rivas y Matiguás, Nicaragua	11
Cuadro 2. Clases de uso y de cobertura del suelo en Matiguás, Nicaragua	22
Cuadro 3. Clases de uso y de cobertura del suelo en Belén (Rivas), Nicaragua	23
Cuadro 4. Distribución de usos de suelo en los paisajes de Matiguás y Belén.....	28
Cuadro 5. Formas de relieve representadas en los paisajes de Belén y Matiguás	29
Cuadro 6. Índices de fragmentación a nivel de parches de tipos de usos de suelo en Belén y Matiguás, Nicaragua	31
Cuadro 7. Caracterización de los potreros (árboles > 20 cm dap) para la simulación de sombra en el paisaje de Belén (Rivas) y Matiguás.	44
Cuadro 8. Especies arbóreas más abundantes en los potreros seleccionados para los modelos de sombra y conectividad en Matiguás y Belén, Nicaragua.....	45
Cuadro 9. Nivel de sombreado en densidades arbóreas mínima y máxima en potreros de Matiguás y Belén. Nicaragua.....	48
Cuadro 10. Promedios de las 10 especies más abundantes en relación a las características estructurales de los árboles en potreros de Matiguás y Belén	51
Cuadro 11. Tipos de arreglos generados a partir de la simulación de árboles agrupados	75
Cuadro 12. Variables utilizadas para la simulación de sombra	76
Cuadro 13. Comparación entre variables según el arreglo espacial de los árboles en potreros (Matiguás y Belén).....	81
Cuadro 14. Medias y error (E.E) de las variables de conectividad	85

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Roles productivos y ecológicos de las cercas vivas y arboles en paisajes agrícolas ...	6
Figura 2. Patrones de sombra según el grado de sombreado	9
Figura 3. Ubicación de los sitios de estudio	21
Figura 4. Mapa de uso de suelo de Matiguás	24
Figura 5. Mapa de uso de suelo de Rivas	25
Figura 6. Ubicación de los sitios de estudio	38
Figura 7. Ubicación de los potreros y árboles georeferenciados en Matiguás.....	41
Figura 8. Escaneo del potrero con las coordenadas x,y (Shademotion).	43
Figura 9. Distribución del porcentaje de cobertura arbórea en potreros de Belén y Matiguás..	46
Figura 10. Distribución de la densidad arbórea en potreros de Belén y Matiguás	46
Figura 11. Simulación de sombra en potreros con árboles dispersos en Matiguás, Nicaragua.	48
Figura 12. Simulación de sombra en potreros con árboles dispersos en Belén, Rivas.....	49
Figura 13. Simulación de sombra en potreros con árboles dispersos y cercas vivas en Belén .	53
Figura 14. Simulación de sombra con árboles dispersos y cercas vivas en Matiguás.....	53
Figura 15. Ubicación de los sitios de estudio	74
Figura 16. Representación del índice de relación de vecindad.....	75
Figura 17. Área de copa y no copa en potreros Matiguás.....	77
Figura 18. Potrero en formato raster para cálculo de métricas de paisaje (Belén, Rivas)	78
Figura 19. Distancia y número de parches de copas de árboles en los potreros	79
Figura 20. Simulación de densidades arbóreas por tipo de arreglo	80
Figura 21. Valor de percolación en potreros para medir el índice de conectividad.	80
Figura 22. Patrones de sombra simulados en potreros de Belén, Rivas	82
Figura 23. Patrones de sombra simulados en potreros de Matiguás.....	82
Figura 24. Comparación de medias de áreas de sombra	83
Figura 25. Comparación de medias de áreas de copa (m) y densidad arbórea	84
Figura 26. Efecto de cambios de la densidad arbórea y el tipo de arreglo espacial.....	86
Figura 27. Diferentes densidades arbóreas simuladas en potreros	87
Figura 28. Umbral de percolación	87
Figura 29. Relación entre el área no sombreada y el índice de percolación	88

LISTA DE UNIDADES, ABREVIATURAS Y SIGLAS

dap: diámetro a la altura del pecho

SSP: sistemas silvopastoriles

GEF: Global Environment Facility

ANOVA: Análisis de Varianza

DE: desviación estándar

ha: hectárea

m: metro

MAGFOR: Ministerio de Agricultura, Ganadería y Forestal

INIFOM: Instituto Nicaragüense de Fomento Municipal

INETER: Instituto Nicaragüense de Estudios Territoriales

SIG: Sistemas de Información Geográfica

TPI: Índice de posicionamiento topográfico

DEM: Modelo de elevación digital

1 INTRODUCCIÓN

Gran parte de la cobertura boscosa en América Central ha sido transformada en un paisaje de pasturas y cultivos intercalados con parches de cobertura arbórea de tamaño y densidad variados (Betancourt *et al.* 2003). La manera en que se manejan los árboles influye tanto en su utilidad como en la conservación de la biodiversidad asociada, al proveer hábitats y preservar cierto nivel de conectividad del paisaje (Harvey *et al.* 1999). Los árboles proveen sitios de percha, cobertura, y alimento para aves, insectos, murciélagos, escarabajos y para mamíferos no voladores (Harvey *et al.* 2004). Por lo tanto, es importante conocer los vínculos entre las actividades y decisiones de los productores y los cambios resultantes en la cobertura arbórea (Gormley y Sinclair 2003).

En los paisajes ganaderos centroamericanos y como resultado de las prácticas de producción tradicional de los ganaderos, la cobertura arbórea se caracteriza por presentar parches de bosque aislados en una matriz dominada por pasturas. Las cercas vivas y los árboles dispersos en los potreros, son elementos comunes de este paisaje de sistemas silvopastoriles (SSP); (Harvey *et al.* 2004). Los árboles son utilizados para leña, postes, material de construcción, frutos y follaje, y a su vez proveen servicios tales como; sombra para el ganado y protección de cuencas (Harvey *et al.* 1999, Ibrahim *et al.* 2001). En la actualidad existen diversas formas de manejar y configurar los sistemas agropecuarios. Dentro de estos sistemas se reconocen a los SSP como una alternativa de producción agropecuaria ambiental y socialmente sostenible (Ibrahim *et al.* 2001).

Los SSP son considerados como una forma de uso del suelo que pretende intensificar la producción pecuaria, incorporando árboles de uso múltiple que proporcionan diversos bienes y servicios; por lo tanto son estrategias que constituyen alternativas valiosas para afrontar los desafíos actuales de los sistemas de producción animal conservando la base de recursos naturales bióticos y abióticos (Russo y Botero 2000).

Los patrones espaciales del paisaje de los municipios de Belén (Rivas) y Matiguás (Matagalpa) en Nicaragua, han sido caracterizados desde el punto de vista de los tipos de uso de suelo existente y de la distribución de la cobertura arbórea en el paisaje (Sánchez *et al.*

2005, Useche 2006 y Vilchez 2008). En este estudio se incluyeron las cercas vivas y los árboles en potreros con el fin de evaluar, a partir de la modelación, el efecto del arreglo y de la densidad arbórea sobre el nivel de sombreado de las pasturas y de la conectividad en los paisajes ganaderos de estos municipios.

1.1 Objetivos del estudio

1.1.1 Objetivo general

Analizar la distribución de los elementos de sistemas silvopastoriles, modelando el impacto del arreglo espacial de los árboles en potreros sobre el nivel de sombreado y la conectividad estructural en los patrones paisajísticos de los municipios de Belén y Matiguás.

1.1.2 Objetivos específicos

- Comparar la distribución espacial entre los diferentes elementos de SSP (cercas vivas, árboles en potreros) dentro del paisaje en función de gradientes topográficos.
- Modelar el impacto de los arreglos espaciales de los árboles en potreros sobre el nivel de sombreado.

Modelar el impacto de los arreglos espaciales de los árboles sobre la conectividad estructural a nivel de potreros.

1.2 Hipótesis del estudio

- Los arreglos de los elementos de SSP difieren dentro de los paisajes de Belén y Matiguás y entre los dos municipios debido a diferencias topográficas.
- La distribución espacial de los árboles, determina el nivel de sombreado en los potreros.
- A niveles constantes de cobertura arbórea y cambiando la distribución espacial de los árboles en potreros, se modifica la conectividad estructural en el paisaje.
- El balance entre la conectividad estructural y el nivel de sombreado puede mejorarse en función del arreglo de los elementos de SSP.

2 MARCO CONCEPTUAL

2.1 Sistemas silvopastoriles

En un paisaje ganadero, los SSP son una forma de uso del suelo que tiene como fin, intensificar la producción pecuaria (Montagnini *et al.* 2003). Al mismo tiempo son una opción que involucra la presencia de leñosas (árboles o arbustos), interactuando con los componentes tradicionales (especies herbáceas y animales), bajo un sistema de manejo integrado, con la finalidad de incrementar la productividad y el beneficio neto del sistema en el largo plazo (Pezo e Ibrahim 1996). Entre los elementos más comunes de SSP están las cercas vivas, los bancos de proteína y/o energía, las barreras vivas, el cultivo en callejones con leguminosas arbóreas o arbustivas, las plantaciones de árboles maderables o frutales, las cortinas rompevientos y los tacotales o matorrales (Pezo e Ibrahim 1996). Los árboles dispersos en pastizales son otro de los elementos que conforman los SSP en Centro América.

Los objetivos de manejo del productor y el tipo de beneficio producido por los distintos elementos de SSP, determinan la conformación y la distribución de los SSP, influyendo positivamente en la productividad de las pasturas y en la conservación de la biodiversidad (Harvey *et al.* 2004). El productor puede dejar algunos individuos o especies remanentes de la cobertura boscosa original en sus potreros o manejar los árboles de tal manera que se establezcan a través de la regeneración natural, seleccionando aquellas especies que tengan características de interés para un determinado uso (e.j. crecimiento erecto, sombra alta y poco densa, buena calidad para leña, etc.) sin afectar la productividad del pasto (Martínez 2003; Muñoz 2004). En este estudio se han considerado los elementos más comunes de los SSP de los municipios de Belén y Matiguás; las cercas vivas y los árboles en potreros con el fin de evaluar el efecto de la cobertura arbórea (grado de sombreado) sobre las pasturas.

2.1.1 Decisiones de los productores para el establecimiento de SSP

Las decisiones tomadas por los productores están relacionadas con los siguientes aspectos: i) tipos de elementos de SSP establecidos, ii) composición de especies, iii) densidad de árboles, iv) extensión, v) complejidad estructural (número de estratos), vi) intensidad y tipo de manejo empleado; y vii) la ubicación en el paisaje en relación a la vegetación remanente

(Harvey *et al.* 2004). La toma de decisiones con relación a la implementación de los SSP afecta directamente el aporte que éstos pueden proporcionar a la conservación de la biodiversidad (Trautman-Richers 2007). En relación a la composición de especies, las cercas vivas por ejemplo, son mayormente establecidas por el productor, mientras que los árboles dispersos tienden a ser remanentes de bosques o provenientes de la regeneración natural (Harvey *et al.* 1999, Martínez 2003, Muñoz 2004). Sin embargo, existen dos factores importantes que determinan la cantidad de árboles en la pastura; el tamaño del potrero y el objetivo de producción en la finca (Trautman-Richers 2007).

Estudios recientes realizados en Cañas y Río Frío, Costa Rica en fincas ganaderas con gran número de potreros pequeños, indican que en este sistema, la densidad ideal para los productores es de 5 a 10 árboles por hectárea (Muñoz 2004), mientras que en Matiguás (Nicaragua), las densidades pueden ser de 70 hasta 80 árboles/ha, dependiendo del objetivo del productor (Martínez 2003). Los resultados de este estudio también indican que la mayoría de los ganaderos consideran que la cantidad de murciélagos, vampiros y parásitos que afectan al ganado, aumenta cuando la sombra en los potreros es más densa o cuando hay presencia de rastrojos o arbustos en alta densidad (Martínez 2003). Estas son probablemente razones importantes para mantener densidades arbóreas bajas en los potreros y de evitar áreas de bosque secundario en sus fincas (Trautman-Richers 2007). De la misma manera la ubicación de los SSP, también está estrechamente relacionada con los objetivos, las decisiones del productor y las diferentes restricciones biofísicas y socioeconómicas que maneja. Los productores que tienen restricciones de mano de obra, pueden preferir establecer un SSP en áreas cercanas a la casa para obtener leña y optimizar el tiempo y energía empleada en cosechar y acarrear el material (Scherr 1992, citado por Trautman-Richers 2007). Al mismo tiempo, los árboles en los potreros, suelen establecerse dispersos en las pasturas y no agrupados, de tal manera que no haya alta interferencia de la sombra sobre las pasturas y que afecte negativamente la productividad (Harvey y Haber 1999).

La pendiente del terreno también puede influir en la ubicación de los árboles en el paisaje. Los productores utilizan preferiblemente los terrenos con menos pendiente para el uso del ganado y establecen las cercas para dividir potreros. En cambio en fincas grandes, el productor puede optar por dejar las áreas de mayor pendiente con mayor cobertura arbórea o

incluso para la regeneración natural (charrales¹ o bosque secundarios; Muñoz 2004). En este sentido, los servicios que ofrecen los SSP tendrán diferente importancia según la ubicación de sus elementos dentro del paisaje. Se pueden ubicar por ejemplo, en pendientes fuertes si se trata de resolver problemas de erosión y cerca de ríos para proteger las fuentes de agua².

2.2 Importancia de la cobertura arbórea

Con respecto a la protección de cuencas hidrográficas, la cobertura arbórea presenta varios beneficios, ya que bajo las condiciones climáticas tropicales, en donde la lluvia suele ser de alta intensidad, la cobertura vegetal constituye un factor altamente determinante del impacto físico de las gotas de lluvia, protegiendo de los efectos erosivos, que tienen consecuencias de gran importancia económica como por ejemplo la pérdida de los estratos fértiles del suelo y la colmatación de obras hidroeléctricas. Los daños mencionados pueden agravarse cuando las pasturas son sometidas a fuertes presiones de pastoreo que exponen el suelo y conducen a la formación de cárcavas, compactación de suelo y por lo tanto, disminución de las tasas de infiltración y el aumento de pérdidas de suelo por efecto de la escorrentía (Ibrahim *et al.* 2001).

2.2.1 Contribución de los SSP a la conservación

Desde el punto de vista de la conservación existen evidencias de que sistemas ricos en especies y estructuralmente diversos y densos tienen un mayor potencial de aportar a la conservación de la biodiversidad que los sistemas mono específicos con baja densidad arbórea. Lo mismo ocurre con los sistemas manejados con menor frecuencia e intensidad (podas más suaves, menos cantidad de agroquímicos) en relación a los que son manejados más intensa y frecuentemente que contribuyen a su vez poco a la conexión del agropaisaje (Harvey *et al.* 2004). Las formas de cobertura arbórea más predominantes en los paisajes ganaderos; los árboles en potreros y las cercas vivas, cumplen diferentes roles productivos y ecológicos (Fig.1)

¹ Formaciones de vegetación arbustiva correspondientes a etapas sucesionales tempranas de bosque secundario

² DeClerck. Comunicación personal

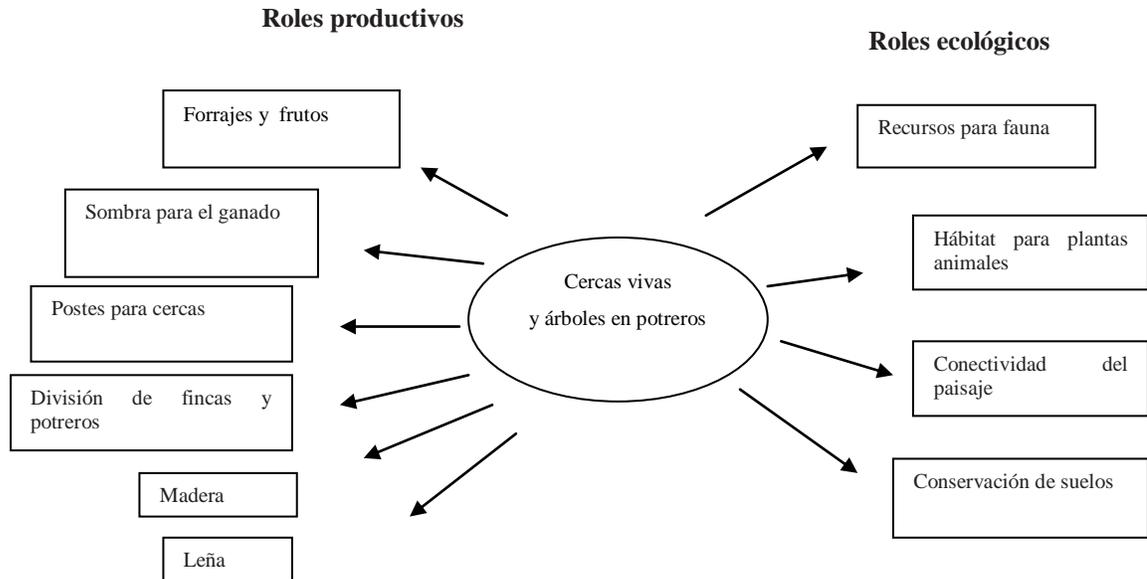


Figura 1. Roles productivos y ecológicos de las cercas vivas y árboles en paisajes agrícolas (Adaptado de Harvey *et al.* 2003)

Investigaciones realizadas en paisajes ganaderos tropicales muestran que el aumento en el número de cercas vivas, mejora las características del paisaje al crear un mosaico más heterogéneo debido a cambios en la estructura de los hábitats que lo conforman, especialmente al transformar extensas áreas de potrero, en un mayor número de potreros con áreas más pequeñas (Chacón y Harvey 2008). Sin embargo, la intensidad y efectividad con que los elementos de SSP aportan a la conservación de la biodiversidad a escala de paisaje, están relacionados estrechamente con la forma en que el productor implementa y maneja su finca, entre estos; el arreglo espacial de los árboles, el control de malezas, y la frecuencia de chapeas y quemas; Harvey *et al.* 2004).

2.2.2 Árboles dispersos en potreros

La estrategia de asociar árboles con pastos en un sistema de producción ganadera, constituye una práctica común en las diferentes regiones tropicales, formando parte del paisaje agrícola (Guevara *et al.* 1994). Estudios realizados en Colombia concluyen que los árboles dispersos en potreros pueden ser una estrategia apropiada para acelerar el enriquecimiento de la vegetación arbórea, puesto que la regeneración natural bajo árboles dispersos en potreros puede ser cinco veces más alta y tres veces más rica en especies que la detectada en potreros abiertos sin cobertura arbórea (Esquivel y Calle 2002). Por otra parte Harvey y Haber (1999),

plantean que la lluvia de semillas bajo los árboles es considerablemente mayor que en las pasturas sin árboles, por lo cual la dispersión de árboles nativos ocurre mayormente en pasturas arboladas. Sin embargo, Camargo *et al.* (2000) considera que entre los factores de mayor relevancia que determinan la densidad de los árboles se encuentran; el control de malezas y la historia del uso de los suelos.

2.2.3 Cercas vivas

El establecimiento de cercas vivas es una práctica tradicional en América Central, con el fin de delimitar campos agrícolas, pasturas y fincas, además de ser utilizadas para la obtención de postes y de leña (Pezo *et al.* 1999). La composición de especies en las cercas vivas depende de las condiciones ecológicas locales, lo mismo que de las preferencias de los ganaderos. Este tipo de cercas también puede funcionar potencialmente como corredores biológicos en paisajes agropecuarios caracterizados por la fragmentación de los hábitats naturales (Harvey *et al.* 2008).

Braudry *et al.* (2003) y Harvey *et al.* (2003), han demostrado que las cercas vivas son utilizadas por muchos animales silvestres en algún momento de su ciclo de vida, proveyendo hábitats para la reproducción y alimento (flores, semillas, frutos y follaje). Sirven además a la protección de plantas, insectos, aves y mamíferos pequeños y pueden contribuir a la conectividad estructural del agropaisaje (Harvey *et al.* 2003). Por su parte Santiváñez (2005) concluye que la influencia de las cercas vivas sobre la abundancia y la riqueza de la avifauna dependen de la composición y de la estructura de su vegetación.

2.3 Efecto del componente arbóreo en pasturas

Las relaciones generadas entre el componente arbóreo y el componente herbáceo representa quizá la interacción más importante desde el punto de vista productivo. Las gramíneas con metabolismo C4 dominan la composición de las pasturas y pastizales tropicales. Éstas tienen una capacidad limitada de tolerar la sombra, lo cual disminuye su frecuencia y productividad cuando se encuentran en sitios con baja intensidad lumínica, contrario a las plantas C3 (generalmente dicotiledóneas) que son más tolerantes a estas condiciones (Giraldo *et al.* 1995). De esta manera las diferencias que se perciben en la

producción y en la calidad nutricional entre los pastos a plena luz y bajo sombra están relacionadas con sus necesidades de luz. El rendimiento de la pastura se modificará en función de la intercepción de la radiación fotosintética por parte de la copa de los árboles y dependiendo de la diversidad y la densidad del componente arbóreo (Mathew *et al.* 1992, citado por Andrade 1999), la especie de pasto (Belsky 1992) y la carga animal (Villafuerte 1998). La diversidad y densidad arbórea influye por lo tanto en la disponibilidad y calidad de forraje dentro de un SSP (Mathew *et al.* 1992, citado por Andrade 1999, Gallo 1998).

En relación a lo anterior Giraldo *et al.* (1995) en su estudio de pasturas de *Panicum maximum* bajo varias especies arbóreas entre ellas; guácimo (*Guazuma ulmifolia*), carbonero (*Senegalia sp*), guanacaste (*Enterolobium cyclocarpum*) y roble (*Tabebuia chrysea*), encontraron una reducción en la cantidad de biomasa durante la época seca del 59 y 47% en pasturas que estaban cubiertas por un área de copa de 3667 m² y 2795 m² respectivamente: Sin embargo, en la época seca, estas densidades no tuvieron efecto significativo sobre la biomasa en pie de las pasturas. Por otra parte, Souza de Abreu *et al.* (2000), determinaron que con una alta cobertura arbórea y carga animal se genera una reducción en la producción de pastos, pero al mismo tiempo este tipo de cobertura contribuye de manera positiva al reducir el estrés calórico e incrementar la producción animal.

Basado en el grado o nivel de sombreado que proyectan las copas de los árboles, Muschler (2000) caracterizó los patrones de doseles de sombra en homogéneos y en heterogéneos de acuerdo a la distribución de las plantas y en densos (tupidos) o ralos (abiertos) de acuerdo con la intensidad de luz que interceptan las copas de los árboles (Fig. 2).

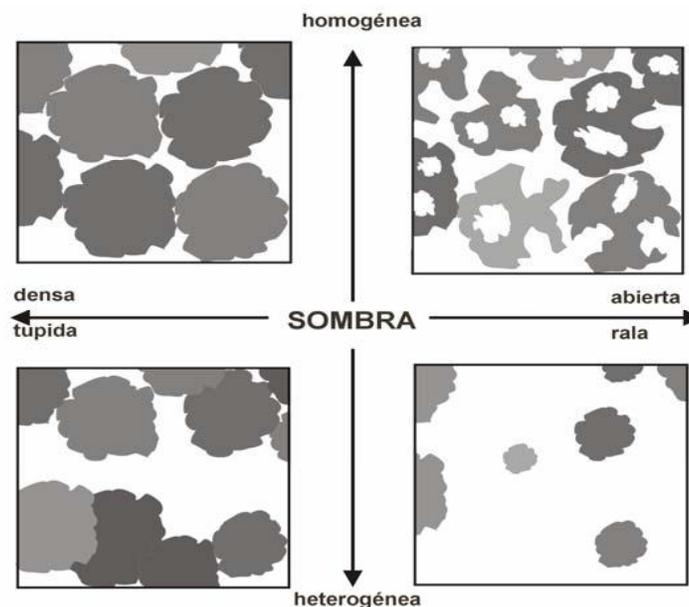


Figura 2. Patrones de sombra según el grado de sombreado (Muschler 2000)

2.3.1 Influencia de la sombra de los árboles en las características morfológicas de las pasturas

El concepto de sombra es definido por Fassola *et al.* (2005) como la diferencia entre la fracción de la PAR (radiación fotosintéticamente activa) bajo el árbol con respecto al nivel de la PAR a cielo abierto. La luz que llega al estrato herbáceo en los sistemas arbolados lo hace de diferentes maneras: a) la luz directa que penetra por los espacios o huecos del dosel, y que resulta de la estructura de las copas de los árboles y del espaciamiento entre ellos, b) la luz difusa que penetra por vías similares a las de la luz directa, c) la luz difusa transmitida a través de las hojas, con importantes alteraciones desde el punto de vista espectral y d) la luz reflejada por el follaje y otros componentes estructurales del estrato arbóreo (Penton y Blanco 1996).

Las pasturas tropicales, con predominio de plantas C4, alcanzan su máxima producción con niveles altos de intensidad lumínica. Por lo tanto, considerando solamente la intercepción de la radiación solar, se espera que la sombra de los árboles resulte en una reducción de la tasa de producción de biomasa, en comparación con pasturas en áreas abiertas (Giraldo y Vélez, 1993). La sombra producida por el dosel sobre el estrato herbáceo constituye uno de los efectos importantes de los árboles en los SSP. Los niveles altos de sombreado, generalmente

afectan negativamente el rendimiento de la pastura. Contrariamente, en algunos casos se puede mejorar la calidad de la misma como alimento para los rumiantes (Obispo *et al.* 2008).

2.4 Caracterización del paisaje

La caracterización del paisaje permite entender su estructura y evaluar las interacciones y la condición de los elementos que lo componen (Forman 1995). Usualmente el análisis del paisaje se realiza con el fin de comparar usos de la tierra (construcciones, vegetación, cultivos, fuentes agua, etc.) para evaluar cambios a través del tiempo y para comparar paisajes de sitios diferentes. En este estudio se analizaron las diferencias de los paisajes ganaderos de Belén y de Matiguás, teniendo en cuenta gradientes topográficos y climatológicos y considerando tres características principales, según Forman (1995): 1) estructura, 2) composición y 3) conectividad. Los paisajes analizados en este estudio están dominados por pasturas y por cobertura arbórea altamente fragmentada y heterogénea (Cuadro 1), existiendo también gran cantidad de tierra dedicada a otras actividades agrícolas (Harvey *et al.* 2008). Por ejemplo, Rivas tiene áreas significativas bajo charrales (13.9%) y bajo bosque secundario (15.62%), mientras que en Matiguás, éstas formaciones representan una porción menor del paisaje (6.80% y 6.88% respectivamente). Sin embargo, en Matiguás hay áreas significativas de árboles dispuestos en línea (ej. cercas vivas) que corresponden a un 8.48%. En general los agricultores dejan pequeños parches de bosque y bosques riparios, principalmente como un recurso potencial para extracción de leña (Harvey *et al.* 2008).

Cuadro 1. Porcentaje de tierra bajo diferentes usos de suelo en Rivas y Matiguás, Nicaragua

Uso de suelo	Rivas	Matiguás
Bosque secundario	15.62	6.88
Bosque riparios y galería	5.92	1.39
Charral	13.92	6.80
Plantación	0.00	0.19
Árboles en línea	0.00	8.48
Camino	0.67	0.14
Cultivo anual	5.06	0.66
Cultivo perenne	0.33	0.50
Pastura	56.72	68.23
Otros (agua, asentamientos y nubes)	1.75	6.73
Total	100	100

Fuente: Adaptado de Harvey *et al.* (2008)

2.4.1 Estructura

En un agropaisaje, la estructura se refiere al arreglo espacial de sus elementos como por ejemplo los diferentes tipos de uso del suelo y la ubicación de los elementos silvopastoriles como cercas vivas, árboles dispersos en potreros y árboles en línea (en los límites de las fincas, a orillas de quebradas y caminos). El nivel de conectividad de los fragmentos de bosques y los procesos ecológicos asociados (ej. la polinización y la dispersión de semillas) dentro de este paisaje dependerá de la forma y cantidad de estos componentes (Zamora 2006). Un cambio en la estructura, básicamente, implica la alteración espacial y funcional del paisaje en el tiempo, por la pérdida de hábitat, lo cual limita el movimiento de animales y el proceso de las interacciones entre los elementos del paisaje (Turner *et al.* 2001).

2.4.2 Composición

Para describir la composición de un paisaje, debe determinarse la cantidad relativa de sus elementos, que puede ser descrita con varios indicadores como la presencia, la ausencia o las proporciones relativas de los elementos del paisaje, así como por medio de índices de

dominancia, de riqueza relativa y de diversidad. Dentro de los componentes del paisaje están los parches, los corredores y la matriz circundante (área de uso de suelo dominante en el paisaje; Forman 1995). Un parche es considerado como la unidad espacial relativamente pequeña a la escala de paisaje, inserta en la matriz. Los parches pueden estar conectados o no por corredores. Estos parches se caracterizan por el tamaño, la forma y su naturaleza (Zamora 2006).

2.4.3 Conectividad

La conectividad se refiere a la continuidad de un hábitat o tipo de cobertura a través de un área determinada en el paisaje (Turner *et al.* 2001). Normalmente involucra corredores y redes y puede usarse para determinar la complejidad y el nivel de continuidad de un tipo de cobertura del suelo dentro del paisaje de interés (Forman 1995). En paisajes con conectividad espacial alta se asume que los parches de bosque están suficientemente cercanos para permitir el movimiento de individuos o poblaciones con requerimientos de áreas grandes (Bennett 2004, Cantwell y Forman 1993). Para una especie, un paisaje con alta conectividad, es aquél en el cual sus individuos pueden moverse y desplazarse libremente entre hábitats apropiados, tales como los requeridos para la reproducción y la alimentación. Al contrario en un paisaje con baja conectividad los organismos están severamente restringidos en el movimiento entre estos hábitat (Bennett 2004). Las cercas vivas y los árboles en potreros pueden estar presentes de manera regular o en forma sistemática en estos paisajes y servir como distintas formas conectoras en el paisaje.

2.5 Ecología de paisajes

La ecología de paisaje puede ser definida como el estudio de las interacciones entre los componentes espaciales y temporales de un paisaje, la flora y la fauna asociadas (Bennett 2004). Se reconoce al paisaje como un mosaico de diferentes tipos de hábitat, que en la mayoría de los casos es afectado por las actividades humanas, resultando en una mezcla de parches con distinto tipo de cobertura del suelo, desde hábitats naturales hasta tierras de uso intensivo (Bennett 2004). Por otro lado la ecología de paisaje investiga cómo los mosaicos de hábitat naturales y antrópicos están estructurados, cómo el patrón espacial influye en los procesos ecológicos y cómo el mosaico del paisaje cambia a lo largo del tiempo (Bennett

2004). El enfoque de la ecología de paisaje sirve como una orientación en los estudios ecológicos para generar estrategias de conservación de la biodiversidad, sobre todo cuando los procesos de fragmentación ocasionan una transformación de los ecosistemas naturales en paisajes hostiles para el movimiento, la supervivencia y el intercambio genético de la flora y de la fauna (Turner *et al.* 2001).

2.5.1 Escala de paisajes

Según Turner *et al.* (2001), la escala se refiere a la dimensión espacial o temporal de un objeto o proceso y se distingue por tener asociado un nivel de organización de la jerarquía biótica. Cada uno de estos niveles, a su vez está caracterizado por una variedad de procesos a una escala espacio-temporal en particular. Es importante definir una escala al considerar los patrones del paisaje, debido a que esto permite hacer un análisis de diferentes aspectos a través de métodos cuantitativos. Así mismo, escoger una escala adecuada es crítico para identificar los factores particulares que influyen en un determinado aspecto de la dinámica del paisaje. En este estudio se trabajó a nivel de escala local, utilizando el potrero como la unidad de paisaje para el análisis.

Usualmente para seleccionar una escala a nivel de paisaje, se utilizan fotografías aéreas o imágenes satelitarias, y se consideran dos características que definen la escala: el grano y la extensión. El *grano* se refiere al nivel más fino de resolución espacial en un determinado grupo de datos, p. ej. el tamaño de las celdas en un mapa dibujado por polígonos. El grano está asociado al tamaño y a la forma de un parche en el paisaje. En cambio, la *extensión* se refiere al tamaño del área de estudio o a la duración del tiempo bajo consideración en el estudio (Forman 1995, Turner *et al.* 2001).

2.6 Sistemas de información geográfica aplicados en análisis de paisajes

Los sistemas de información geográfica (SIG) tienen como característica principal, manejar la información espacial. Son además, herramientas metodológicas que permiten hacer análisis a nivel de paisajes a partir de datos referidos a un determinado territorio, siendo fundamentales al momento de orientar, sintetizar variables, proporcionar modelos y suministrar instrumentos de análisis (Vila y Varga 2008). Según la ecología del paisaje, la

cuantificación de la estructura del paisaje se considera un requisito para el análisis de patrones espaciales lo que se refleja en un conjunto de valores numéricos o índices del paisaje (Turner y Gardner 1991).

3 BIBLIOGRAFÍA

- Andrade H.J. 1999. Dinámica productiva de sistemas silvopastoriles con *Acacia mangium* y *Eucalyptus deglupta* en el trópico húmedo. Tesis Mag. Sc. CATIE, Turrialba, CR.70 p.
- Belsky, A.J. 1992. Effects of trees on nutritional quality of understory gramineous forage in tropical savannas. *Tropical Grasslands*. 26:12-20.
- Bennett, A.F. 2004. Enlazando el paisaje el papel de los corredores y la conectividad en la conservación de la vida silvestre. UICN-Mesoamerica. San José, C.R. 276 p.
- Betancourt, K; Ibrahim, M; Harvey, CA; Vargas, B. 2003. 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).
- Braudry, J; Bunce, R.G; Burel, F. 2003. Hedgerows: An international perspective on their origin, function and management. *Journal of Environmental Management*. Vol. 60 (1):7-22.
- Chacón, M. y Harvey, C.A. 2008. Contribución de las cercas vivas a la estructura y la conectividad de un paisaje fragmentado en Río Frío, Costa Rica. *In* Harvey, C.A.; Sáenz, J. Evaluación y conservación de la biodiversidad en paisajes fragmentados de Mesoamérica. INBio/ CATIE/UNA. 1 ed. Heredia, Costa Rica. p. 225_ 248.
- Camargo J.C; Ibrahim, M; Somarriba, E; Finegan, B; Current, D. 2000. Factores ecológicos y socioeconómicos que influyen en la regeneración natural del laurel en sistemas silvopastoriles del trópico húmedo y sub-húmedo de Costa Rica. *Agroforestería en las Américas* 7(26): 46-52.
- Cantwell M.D., Forman R.T.T. 1993. Landscape graphs: Ecological modeling with graph theory to detect configurations common to diverse landscapes. *Landscape ecology*. 8 (4): 239-255.
- Esquivel, M.J., Calle, Z. 2002. Árboles aislados en potreros como catalizadores de la sucesión en la Cordillera Occidental Colombiana. *Agroforestería de las Américas* 9 (33-34): 43-47.
- Fassola H. E.; Pachas N.; Lacorte S. M. 2005. 3º Congreso Forestal Argentino y Latinoamericano. Corrientes- Argentina.
- Forman R.T.T.1995. *Land Mosaics- the ecology of landscape and regions*. Cambridge, Great Britain. 632 p.

- Gallo, L.A. 1998. Crecimiento de *Panicum maximum* bajo *Pinus caribaea*: relación dosel – pradera. Tesis Mag. Sc. CATIE, Turrialba, CR. 89 p.
- Giraldo, L.A.; Botero, J.; Saldarriaga, J.; David, P. 1995. Efecto de tres densidades de árboles en el potencial forrajero de un sistema silvopastoril natural, en la región Atlántica de Colombia. *Agroforestería en las Américas* 8: 14-19.
- Giraldo, L.A. y Vélez, G. 1993. El componente animal en los sistemas silvopastoriles. *Industria & producción agropecuaria. Azoodea. medellín. Vol. 1 (3):27-31*
- Gormley, L.H.L.; Sinclair, F.L. 2003. Modelaje participativo del impacto de los árboles en la productividad de las fincas y la biodiversidad regional en paisajes fragmentados en América Central. *Agroforestería en las Américas*. 10 (39-40):103-108
- Guevara, S.; Meave, J.; Moreno-Cassasola, P.; Laborde, J.; Castillo, S. 1994. Vegetación y flora de potreros en la sierra de los Tuxtlas, México. *Acta Botánica Mexicana* 28: 1-27.
- Harvey, CA y Haber, WA. 1999. Remnant trees and the conservation of biodiversity in Costa Rican pastures. *Agroforestry Systems* 44:37-68.
- Harvey, C.A.; Haber, W.A.; Mejías, F.; Solano, R. 1999. Árboles remanentes en potreros de Costa Rica: "Herramientas para la conservación? *Agroforestería en las Américas*. v. 6(24): 19-22.
- Harvey, C.A.; Tucker, NIJ.; Estrada, A. 2004. Live fences, isolated trees, and windbreaks: tools for conserving biodiversity in fragmented tropical landscapes. In Schroth, G., da Fonseca, GAB., Harvey, CA., Gascon, C., Vasconcelos, HL., Izac, AN. (Eds). *Agroforestry and Biodiversity Conservation in Tropical Landscapes*. Island Press. USA. p. 261 – 289.
- Harvey, C.A.; Villanueva, C; Ibrahim, M.; Gómez, R.; López, M.; Kunth, S.; Sinclair, F. 2008. Productores, árboles y producción ganadera en paisajes de América Central: implicaciones para la conservación de la biodiversidad. *In* Harvey, C.A.; Sáenz, J. *Evaluación y conservación de la biodiversidad en paisajes fragmentados de Mesoamérica*. INBio/CATIE/UNA. 1 ed. Heredia, Costa Rica. p. 197_224.
- Harvey, C.A; Villanueva, C; Villacís, J; Chacón, M; Muñoz, D; López, M; Ibrahim, M; Gómez, R; Taylor, R; Martínez, J; Navas, A; Sáenz, J; Sánchez, D; Medina, A; Vílchez, S; Hernández, B; Pérez, A; Ruíz, F; López, F; Lang, I; Kunth, S; Sinclair, F.L. 2003. Contribución de las cercas vivas a la productividad e integridad ecológica de los

- paisajes agrícolas en América Central. *Agroforestería de las Américas* 10 (39-40): 30-39.
- Ibrahim, M.; Mora, J.; Rosales, M. 2001. Potencialidades de los Sistemas Silvopastoriles para la Generación de Servicios Ambientales: memorias de una conferencia electrónica, Turrialba, C.R. CATIE/FAO/LEAD. Serie Técnica. Informe Técnico no. 11: 10 – 33.
- Martínez, J.L.R. 2003. Conocimiento local de productores ganaderos sobre cobertura arbórea en la parte baja de la cuenca del Río Bulbul en Matiguás, Nicaragua. Tesis Mag. Sc. CATIE, Turrialba, CR.158p.
- Montagnini, F; Ugalde, L; Navarro, C. 2003. Growth characteristics of some native tree species used in silvopastoral systems in the humid lowland of Costa Rica. *Agroforestry Systems* 59:163-170.
- Muñoz, D. 2004. Conocimiento local sobre cobertura arbórea en sistemas de producción ganadera en dos localidades de Costa Rica. Tesis Mag. Sc. CATIE, Turrialba, CR. 206 p.
- Muschler, R. 2000. Árboles en cafetales. Módulo de enseñanza agroforestal. CATIE, Turrialba, Costa Rica. 139 p.
- Obispo, N. Espinoza, Y. Gil, J. Ovalles, F., Rodríguez, M. 2008. Efecto del sombreado sobre la producción y calidad del pasto guinea (*Panicum maximum*) en un sistema silvopastoril. *Zootecnia Trop.* 26(3): 285-288.
- Pentón, G. y Blanco, F. 1996. Efecto de la sombra de los árboles sobre el pastizal en un sistema seminatural. FAO. Consultado agost. 2009. Disponible en <http://www.fao.org/>
- 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. FIRA, Banco de México, Morelia, México. 39 p.
- Pezo, D; Ibrahim, M. 1999. Sistemas silvopastoriles. Serie Materiales de Enseñanza. 2. ed CATIE. Turrialba, C.R. no 44. 275 p.
- Russo, R; Botero, R. 2000. El componente arbóreo como componente forrajero en los sistemas silvopastoriles. Escuela de Agricultura de la Región Tropical Húmeda – EARTH. Costa Rica.

- Sánchez, D; Harvey, C.; Grijalva, A.; Medina, A.; Vílchez, S.; Hernández, B. 2005. Diversidad, composición y estructura de la vegetación en un agropaisaje fragmentado de bosque en Rivas, Nicaragua. *Recursos Naturales y Ambiente*. 45: 91- 104.
- Santivañez, J.L. 2005. Efecto de la estructura, composición y conectividad de las cercas vivas en la comunidad de aves en Río Frío, Costa Rica. Tesis M.Sc. CATIE, Turrialba, Costa Rica. 116 p.
- Souza de Abreu, M; Ibrahim, M; Harvey, C; Jiménez, F. 2000. Caracterización del componente arbóreo en los sistemas ganaderos de La Fortuna de San Carlos, Costa Rica. *Agroforestería de las Américas* 7 (26): 53-56.
- Trautman-Richers, B. 2007. Factores que influyen en el diseño, implementación y manejo de sistemas silvopastoriles con características que favorezcan la conservación de la biodiversidad en Copán, Honduras. Tesis Mag. Sc. CATIE, Turrialba, CR. 188 p.
- Turner, M G; Gardner, R H. 1991. *Quantitative Methods in Landscape Ecology*. New York, Springer – Verlag. p. 3-14.
- Turner, M. G., R. Gardner y R. O'Neill. 2001. *Landscape Ecology in theory and practice. Pattern and process*. Springer-Verlag New York, Inc. pp. 401.
- Useche, C. 2006. Diseño de redes ecológicas de conectividad para la conservación y restauración del paisaje en Nicaragua, Centroamérica. Tesis Mag. Sc. CATIE, Turrialba, CR. 233 p.
- Vilchez, S.J. 2008. Efecto de la composición y estructura del paisaje y del hábitat sobre distintos grupos taxonómicos en un agropaisaje en Matiguás, Nicaragua Tesis Mag. Sc. CATIE, Turrialba, CR. 103 p.
- Villafuerte, LE. 1998. Sistemas expertos como herramienta para toma de decisiones de manejo en sistemas silvopastoriles del trópico húmedo bajo de Costa Rica. Tesis MSc. CATIE, Turrialba, CR. 98 p.
- Vila, J. y Varga, D. 2008. Evaluación y prevención de riesgos ambientales en Centroamérica. 19 p.
- Zamora-López, S. 2006. Efecto de los pagos por servicios ambientales en la estructura, composición, conectividad y stock de carbono de un paisaje ganadero en Esparza, Costa Rica. Tesis M.Sc. CATIE. Turrialba, CR. 245 p.

4 ARTÍCULO 1. CARACTERIZACIÓN DE LA ESTRUCTURA Y LA COMPOSICIÓN DE LOS PAISAJES AGROPECUARIOS DE BELÉN Y MATIGUÁS, NICARAGUA

4.1 Introducción

La mayoría de los paisajes en Centroamérica han sido deforestados y fragmentados producto de la conversión a distintas formas de uso del suelo. En la actualidad, grandes áreas han sido deforestadas y convertidas en potreros. Cerca de 15 millones de hectáreas están ocupadas por pastizales en Centroamérica, de las cuales 4.4 millones están en Nicaragua (Pomareda 1999). Se estima que persiste menos del 1% del bosque seco y prácticamente nada en estado natural (Stevens 2001). Esta deforestación y fragmentación ha venido provocando una serie de impactos en la evolución de la vegetación; probablemente muchos de los árboles dominantes del bosque no se están reproduciendo en forma efectiva, ya sea por los cambios en el clima, lo que dificulta el establecimiento de los semilleros, porque las plántulas mueren debido a las quemadas frecuentes y al pastoreo del ganado, porque no hay suficientes fuentes de semillas o por falta de animales dispersores. Por otro lado, la deforestación de grandes áreas y la extracción de madera y leña ha reducido las poblaciones de muchas especies arbóreas y amenaza su supervivencia a largo plazo (Sánchez *et al.* 2005).

Como consecuencia de la deforestación y el establecimiento de explotaciones agropecuarias, hoy en día muchas regiones de Nicaragua han sido transformadas en agropaisajes. Tal es el caso de Matiguás y Belén, donde el avance de la actividad agropecuaria, a través de la historia, ha provocado la deforestación indiscriminada de la superficie boscosa, ocasionando la fragmentación y transformación de ecosistemas naturales y por consiguiente, la pérdida de la biodiversidad (Sánchez *et al.* 2005). En Rivas específicamente, actualmente queda un mosaico de pequeños parches de vegetación boscosa, charrales y franjas angostas de árboles a lo largo de los ríos, todo ello en medio de una matriz de cultivos agrícolas y potreros. Algunos de estos paisajes también incluyen cercas vivas (Harvey *et al.* 2004). Estos pequeños parches aún siguen siendo intervenidos por la ganadería, la extracción de leña y madera y las quemadas para la siembra de cultivos, por lo que sufren un proceso acelerado de degradación (López y García 2002).

Una serie de acciones pueden ser aplicadas en las fincas de pequeños y medianos productores con el fin de contribuir al restablecimiento del paisaje. Entre éstas acciones; el fomentar los sistemas agroforestales en las fincas mediante los SSP, a través de la inserción de árboles aislados en potreros, el establecimiento de cercas vivas, el manejo adecuado de las pasturas, así como el incentivo de la regeneración natural, de la vegetación y de la conservación de los bosques (Beer *et al.* 2003). Así los SSP podrían contribuir a disminuir la erosión de suelo, proporcionando mayor conservación del agua y menor sedimentación de ríos. También podrían reducir la presión sobre los recursos del bosque, favorecer la conectividad en los paisajes fragmentados y conservar la biodiversidad. Además, de aumentar el potencial de almacenamiento de carbono (De Haan 2004).

La presente investigación se realizó en los municipios de Belén (Rivas) y en Matiguás (Matagalpa). Estos paisajes están considerados entre los principales tipos de producción ganadera que existen en Nicaragua. El estudio consistió en una descripción espacial de los distintos elementos de SSP (cercas vivas, árboles en potreros) en relación con los gradientes topográficos en ambos municipios.

4.2 Materiales y métodos

4.2.1 Sitio de estudio

El estudio se realizó en Belén y Matiguás, Nicaragua (Fig. 3), como parte del proyecto SILPAS. Matiguás es un municipio ubicado en el departamento de Matagalpa y representa la zona ganadera de las tierras altas centrales de Nicaragua. Este municipio tiene una extensión territorial de 1,710 km², siendo uno de los municipios más grandes en extensión del departamento de Matagalpa. Se localiza a 85°27' de latitud Norte y 12°50' de longitud Oeste, a una altura de 200 a 300 msnm, la topografía del terreno es ondulada con pendientes entre 30 a 50% y predominan los suelos arcillosos. (MAGFOR, 2001). La temperatura media anual es de 27°C (INIFOM 2005). Las temperaturas más altas se alcanzan en los meses de marzo y abril, registrando extremas de 41.0° C. La precipitación media anual es de 1800 a 2000 mm (INIFOM 2005). Sin embargo, existe una estación seca bien marcada. Dentro de la clasificación de Holdridge (1978) esta zona es considerada como Bosque sub-húmedo Tropical. Las comunidades estudiadas corresponden a la microcuenca del Río BulBul.

El municipio de Belén, se ubica en el departamento de Rivas. Se localiza a 11°30' de latitud Norte y 85°53' de longitud Oeste. La altitud oscila entre 100 y 200 msnm, la topografía es plana y los suelos son de tipo vertisol y molisol. La temperatura media varía entre los 23 °C y 33°C y la precipitación promedio anual es de 1400 mm (INETER, 2000). Según la clasificación de Holdridge (1978), la zona de vida pertenece al Bosque Seco Tropical. Este municipio representa los paisajes ganaderos de la costa pacífica del país, siendo un mosaico dominado por pasturas, con pequeños parches de cultivos agrícolas y bosque.

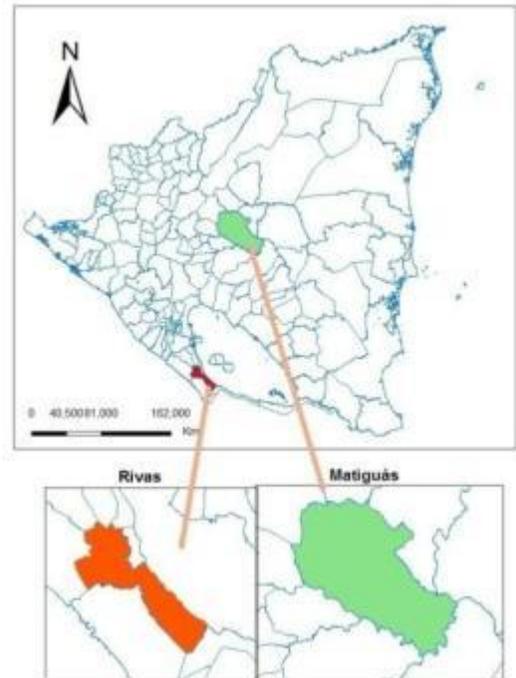


Figura 3. Ubicación de los sitios de estudio

4.3 OE1. Comparación de la distribución espacial de los SSP

4.3.1 Caracterización del paisaje

La caracterización de la estructura y la composición del paisaje de Matiguás se hizo en base al mapa de uso del suelo elaborado por Useche (2006), en el cual se caracterizaron diez tipos de usos de suelo (Cuadro 2; Fig. 4) basados en el Sistema de Clasificación de Cobertura de la Tierra (LCCS) realizado por Di Gregorio y Jansen (FAO 1998). Este mapa fue digitalizado a una escala 1:5000, mediante la interpretación visual de una imagen Ikonos 2003. Como los hábitats identificados en el mapa realizado por Useche (2006) no eran idénticos a la clasificación de hábitats utilizada por el proyecto FRAGMENT, se reclasificó el mapa, asignando solo las categorías que FRAGMENT utilizó para los muestreos de biodiversidad (Vilchez 2008).

Cuadro 2. Clases de uso y de cobertura del suelo en Matiguás, Nicaragua (Useche 2006)

Uso de suelo	Descripción general	Criterios utilizados en la verificación de campo
Bosque Secundario	Cobertura arbórea totalmente cerrada originada por regeneración natural. Los bosques ribereños (vegetación arbórea a la orilla de los ríos) también fue incluida dentro de esta categoría	Estrato arbóreo igual o mayor a 15 m y presencia de un estrato arbustivo o sotobosque. Los Ribereños además debían tener un mínimo de 10 m de ancho a ambos lados del cauce
Tacotales	Áreas que se caracterizan por la dominancia de especies arbustivas y de especies arbóreas	Cobertura arbustiva con presencia de especies arbóreas pioneras o remanentes de bosque. Dos estratos: arbóreo que alcanza hasta los 12 m y un estrato arbustivo (Edad entre 10 y 15 años).
Charrales	Después del abandono de pastizal la cobertura se cierra bajo una dominancia de arbustos	Después de aproximadamente 4 años de abandono de la pastura y hasta 9 ó 10 años la vegetación está conformada por un estrato de aproximadamente 5 m de altura
Mosaico	Dominancia de cobertura arbórea cerrada pero con parches de pastizales en el interior que no pueden ser separados	Fragmentos de bosques con grandes parches de pasturas en su interior que rompen con el estrato arbóreo
Cercas vivas	Líneas de árboles sembradas por los productores o remanentes de bosque	
Corredor ripario	Vegetación arbórea a la orilla de los ríos	Estrato arbóreo único igual o mayor a 15 m sin presencia de estrato arbustivo. Ancho menor de 10 m de ancho a ambos lados del cauce
Potreros arbolados	Tipo de cobertura de dominancia herbácea con presencia de árboles aislados	Pasturas con una densidad arbórea menor o igual de 30%
Potreros abiertos	Dominancia de cobertura herbácea	Pasturas con una densidad arbórea menor o igual de 10%
SAF	Cobertura vegetal tipo cultivo (homogénea) con la presencia de un estrato arbóreo superior	Presencia de un cultivo agrícola con la presencia de árboles mayores de 12 m de altura con un dosel continuo o discontinuo
Cultivos	Cobertura vegetal tipo cultivo (homogéneo)	Presencia de cultivos de maíz, caña, entre otros

En el municipio de Belén se utilizó el mapa de uso y cobertura del suelo de SILPAS (2009), en base a una fotografía aérea del año 2005. Se caracterizaron diez usos de suelo, partiendo de los criterios para su descripción (Cuadro 3; Fig. 5). El área del paisaje fue delimitada mediante un cuadrante de acuerdo a la agrupación de la mayoría de los potreros.

Cuadro 3. Clases de uso y de cobertura del suelo en Belén (Rivas), Nicaragua (SILPAS 2009)

Usos de suelo	Descripción
Bosque secundario	Cubierta arbórea cerrada. Los bosques ribereños (vegetación de los bosques a lo largo de ríos y arroyos). Los árboles más altos de 15 m y la presencia de una capa de arbustos del sotobosque. Bosque ribereño debe tener un mínimo de 10 metros a cada lado de la corriente.
Corredor ripario	Vegetación con predominio de la cubierta arbórea = o > de 15 metros de altura de los árboles. Ancho de la cubierta forestal es inferior a 10 m en cada lado del río o de un arroyo.
Mosaico	Parches de árboles con dosel cerrado de árboles en pastizales
Potreros con árboles	Cubierta vegetal dominada por pastizales con árboles dispersos (árboles cubren < del 30% y > 10%)
Potreros abiertos	Cobertura vegetal dominada por pastizales con árboles dispersos que cubren menos del 10%
Charrales	Cubierta vegetal dominada por arbustos de aprox. 5 m de altura
Cercas vivas	Hileras de árboles plantados por los agricultores
SAF (Sistemas agroforestales)	Cobertura vegetal homogénea como cultivos, con una cubierta forestal continua o discontinua, árboles más de 12 m de altura
Cultivo	La cubierta vegetal dominada por los cultivos (maíz, caña de azúcar, entre otros)
Árboles frutales	

Se reclasificaron los usos de suelo de manera que coincidieran para el análisis de usos de suelo en ambos paisajes. Los potreros abiertos fueron considerados dentro del uso de suelo de potreros de baja cobertura arbórea. Los potreros con árboles y los mosaicos se clasificaron como un mismo uso de suelo en potreros de alta cobertura arbórea. Los árboles frutales fueron considerados como un mismo uso de suelo en SAF. Las áreas correspondientes a caminos, agua y suelos desnudos (que no están clasificados en la descripción por no ser considerados importantes para este análisis) fueron sumados como otros usos de suelo. Los usos de suelo analizados en el área de estudio correspondieron a bosques secundarios, bosques ribereños, potreros con alta cobertura arbórea, potreros con baja cobertura arbórea, charrales, sistemas agroforestales, cultivos y otros usos. Para cada uso de suelo fue determinada el área y la proporción ocupada en el paisaje.

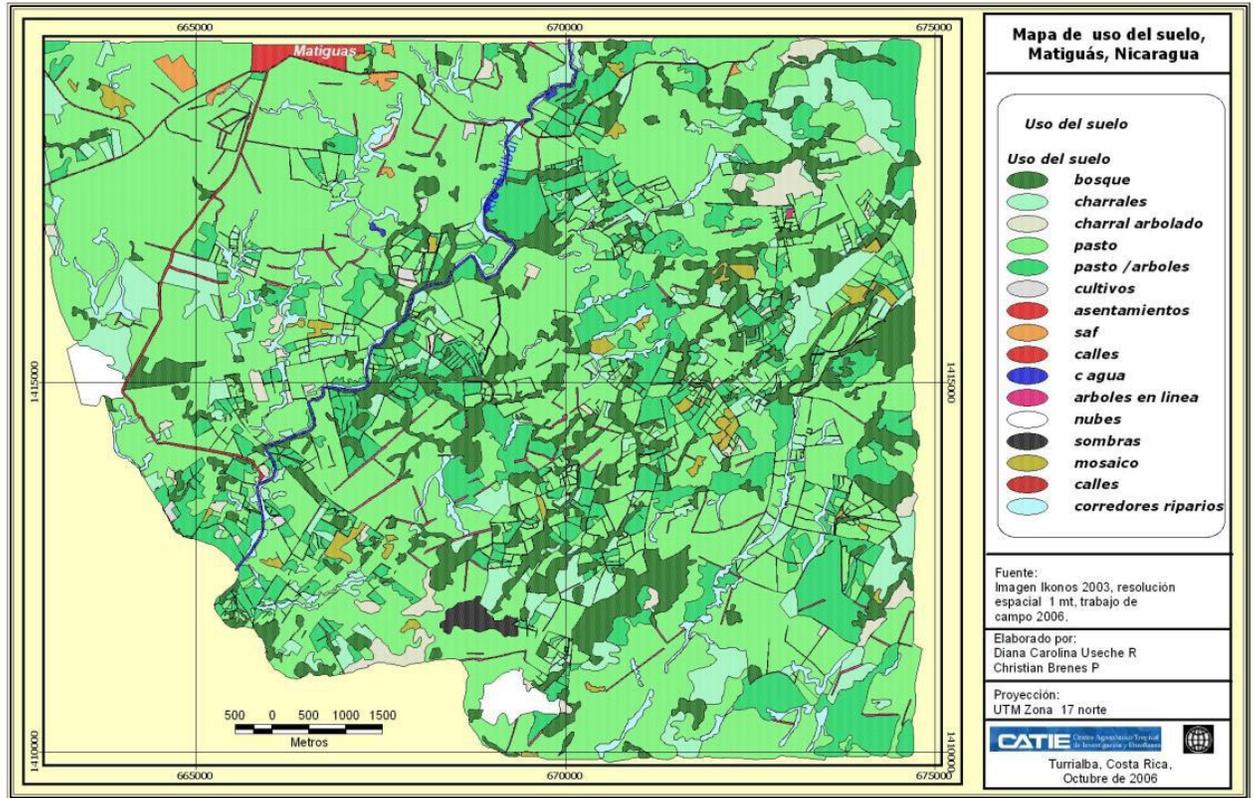


Figura 4. Mapa de uso de suelo de Matiguás (6790 ha; Useche 2006)

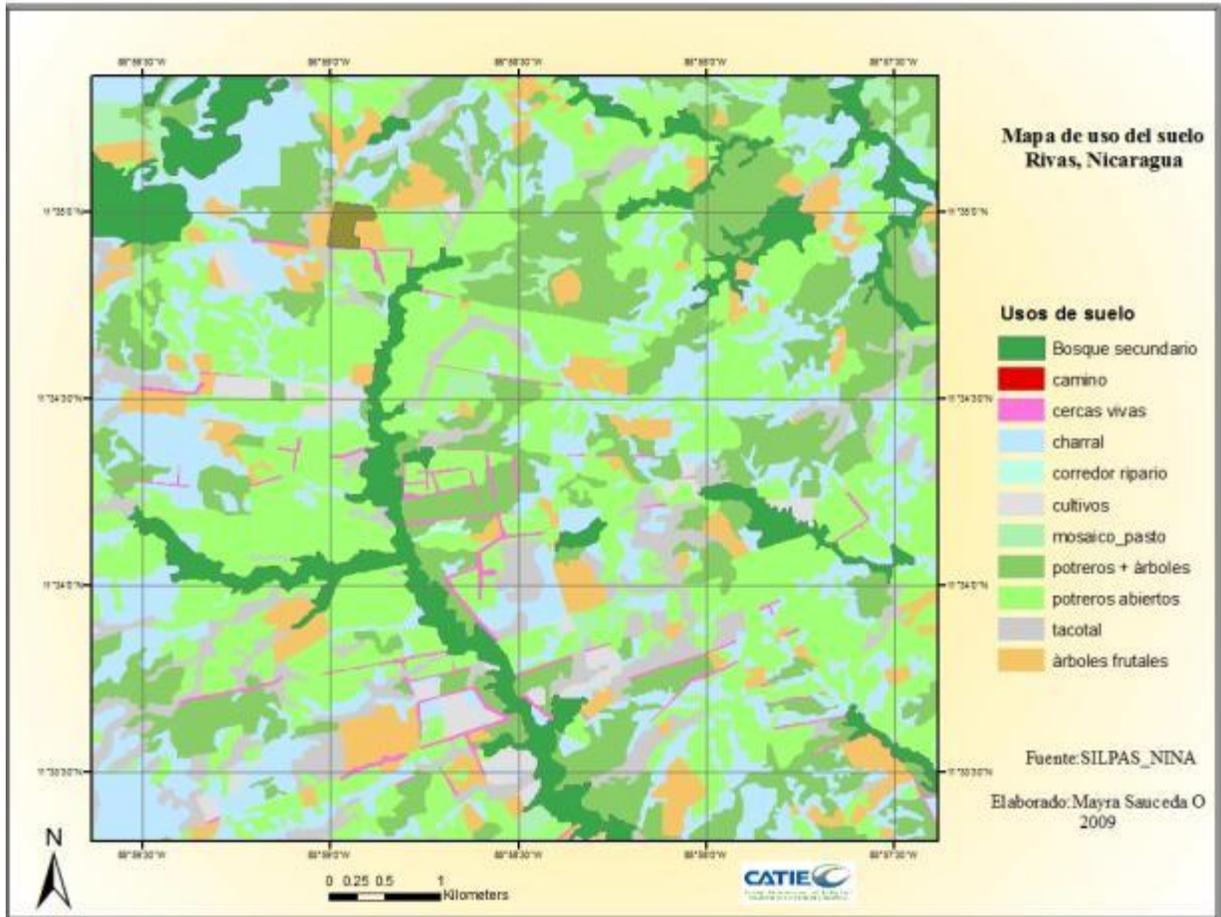


Figura 5. Mapa de uso de suelo de Rivas (3051 ha)

4.3.2 Análisis de uso del suelo por formas de relieve

A partir del modelo de elevación digital (DEM) con una resolución de 90 m, de acuerdo a las curvas de nivel de Nicaragua; se clasificó el paisaje tanto para Matiguás como para Belén, según la posición topográfica y el relieve, utilizando la extensión *TOPOGRAPHIC POSITION INDEX* (Índice de posicionamiento topográfico), Jenness (2006) y Weiss (2006) para ARCVIEW 3.3 (ESRI, 2002). Para el cálculo del índice topográfico (TPI) se utilizó el promedio de altitud, basado en el DEM con dos escalas. Para la primera escala se utilizó un área circular de 100 m y la segunda escala, con un área circular de 500 m de radio. El TPI expresa valores de -1 y +1. Los valores cercanos a -1 expresan pendientes negativas, los valores similares a 0 indican pendientes planas y los valores próximos a +1; indican pendientes positivas. Las diferentes combinaciones de valores del TPI en el área circular de 100 m y 500 m se estandarizan en una sola leyenda de 10 formas de relieve establecidas por

Weiss (2006). A partir del TPI se generó el mapa de clasificación conteniendo estas formas del relieve:

- Cañones y corrientes profundamente disectos
- Drenajes de tierras altas, cabeceras de río
- Drenajes de pendientes medias, valles poco profundos
- Valles
- Planicies
- Pendientes abiertas (<15% de pendiente)
- Pendientes altas (> 15% pendiente)
- Colinas en planicies
- Pequeñas colinas en planicies
- Cimas de montaña

El mapa de cada uso de suelo se sobrepuso al de formas del relieve, calculando la proporción del espacio que ocupa cada uso para cada forma del relieve. El propósito de este análisis fue observar la distribución del uso del suelo y las diferentes formas de relieve y comparar las distribuciones de los paisajes de Belén y de Matiguás. El mapa utilizado fue elaborado en formato raster con la misma resolución que el DEM (90 m), con un tamaño de pixel de 0.81 ha.

4.3.3 Análisis de métricas de paisaje

El paisaje es considerado un mosaico de elementos o parches. Las métricas utilizadas para describir el grado de fragmentación del paisaje, caracterizan los parches por su tamaño, forma y grado de aislamiento, así como la proporción de los elementos que componen el paisaje. Se utilizó el programa FRAGSTATS para analizar las siguientes métricas a nivel de paisaje (McGarigal y Marks 2002): Área Total (TA); es el área total del paisaje. Distancia promedio mínima al vecino más próximo (ENN); es la suma de los promedios de las distancias mínimas de los vecinos más cercanos de cada clase, dividido entre la cantidad de clases presentes en el paisaje. La forma; este índice sirve para cuantificar la complejidad de los parches, y cuáles pueden ser importantes para los diferentes procesos ecológicos, por ejemplo parches de forma circular o cuadrada, tienen menos borde y potencialmente mayor área núcleo. El índice de dimensión fractal (FRAC); este índice es utilizado para caracterizar las

formas y el grado de complejidad de un parche, de manera que el perímetro de un parche está relacionado con el área.

4.4 Resultados y discusión

4.4.1 Comparación de la distribución espacial de los SSP

4.4.1.1 Caracterización del paisaje

El área muestreada en Matiguás fue de 6790 ha y en Belén de 3051 ha. Estos paisajes están compuestos por 11 clases de cobertura (Cuadro 4). Específicamente, en Matiguás, el paisaje está dominado por una matriz de potreros con baja cobertura (53%) y potreros con alta cobertura arbórea (20%). En Belén, la matriz de pastos con potreros de baja cobertura y potreros con alta cobertura arbórea, conforma el 24% y el 20% respectivamente. Los parches de bosque secundario tuvieron una cobertura importante en el área de estudio (12%). En Belén, los charrales tuvieron una cobertura del 30% (Cuadro 4). Estos análisis coinciden con los resultados obtenidos por Useche (2006), en donde los pastos representan el 70% del área total del paisaje de Matiguás, mientras que los bosques únicamente cubren el 10% y los charrales cubren el 9% del área del paisaje. Vilchez (2008), también muestra que los potreros con baja cobertura, son el uso de suelo más predominante de Matiguás, representando el 50% del área total, en comparación con los potreros de alta cobertura arbórea, que representan solamente el 21%.

Cuadro 4. Distribución de usos de suelo en los paisajes de Matiguás y Belén

Cobertura de uso del suelo	Parche (#)	Matiguás		Parche (#)	Belén	
		Área (ha)	% del paisaje		Área (ha)	% del paisaje
Potreros con baja cobertura	134	3593.4	52.5	168	739.2	24.2
Potreros con alta cobertura	150	1324.4	19.5	141	633.2	20.7
Bosque secundario	185	818.7	12.1	38	371	12.1
Charrales	117	579.1	8.5	199	935	30.6
Cercas vivas	296	175.7	2.6	69	33.7	1.1
Bosque ripario	40	170.6	2.5	3	1.6	0.1
Cultivos	46	93.8	1.4	55	159.3	5.2
Sistemas agroforestales	3	4.8	0.1	124	174.5	5.7
Otros (agua, suelos desnudos, caminos)	8.0	59.9	0.9	1	3.7	0.1
		6790.4	100		3051.1	100

4.4.2 Análisis de tipos de uso del suelo y formas de relieve

Las formas de relieve predominantes fueron las pendientes abiertas³ (1221 ha, 41% del área total en Belén y 2627.6 ha, 39% del área total en Matiguás) y las planicies (560 ha; 19% del área total en Belén y 1861 ha; 27% para Matiguás). Los drenajes de tierras altas con cabeceras de río fueron las formas de relieve menos representativas del área total del paisaje, ocupando únicamente el 1% para el caso de Belén y < 1% del área estudiada en Matiguás (Cuadro 5).

³ terrenos de aproximadamente 15% de pendiente

Cuadro 5. Formas de relieve representadas en los paisajes de Belén y Matiguás

Formas de relieve	Belén		Matiguás	
	Área (ha)	%	Área (ha)	%
Pendientes abiertas	1220	41	2627	39
Planicies	559	19	1860	27
Cimas de montañas	365	12	664	10
Pendientes altas	225	8	278	4
Drenajes de pendientes medias, valles poco profundos	176	6	308	5
Cañones y corrientes profundamente disectos	168	6	402	6
Valles	146	5	334	5
Colinas en planicies	87	3	322	5
Drenajes de tierras altas, cabeceras de ríos	23	1	4	0

Estas formas de relieve no están asociadas a un patrón específico de uso de suelo. Sin embargo, las pendientes abiertas son el tipo de relieve que predomina en estos paisajes, donde se encontraron mayormente las áreas de pasto, tacotales y charrales. Sadeghian *et al.* (2001) y Murgueitio e Ibrahim (2004), evidencian que en Colombia, muchas de las áreas ganaderas se encuentran en pendientes pronunciadas donde el uso anterior del suelo fue la producción de café y que han pasado a ser utilizadas para la ganadería intensiva ocasionando problemas de erosión, disminución de la fertilidad de suelos y de calidad del agua en menos de 4 años. Estos cambios en los patrones del uso del suelo suelen ocurrir muy rápido, induciendo a la disminución de la cobertura arbórea (Harvey *et al.* 2005). Rocha (2002) por su parte, determinó que las variaciones de cambios observadas en los usos de suelo, principalmente en los paisajes agropecuarios de Matiguás, ejercen presión sobre la dinámica de los bosques.

4.4.3 Análisis de métricas de paisaje

En el paisaje de Belén hubo diferencias estadísticas entre los diferentes tipos de uso de suelo en todas las métricas analizadas (el área, la forma, el índice de dimensión fractal (FRAC) y la distancia promedio mínima al vecino más próximo (ENN); Cuadro 6). Para el índice de forma, los bosques secundarios difirieron del resto de usos de suelo, siendo los parches más complejos, por tener menos efecto de borde y potencialmente mayor área núcleo. Los otros usos de suelo presentaron formas más regulares. Rutledge (2003) evidencia que las formas más alargadas como árboles en línea, formas sinuosas como bosques ribereños, pueden tener comparativamente poca área núcleo, pero sí una gran área total.

Con respecto al índice de dimensión fractal (FRAC), el bosque ripario mostró valores significativamente mayores que el resto de los usos de suelo (1.36 ± 0.01). Similar situación presentó el índice de distancia al vecino más próximo (ENN), difiriendo del resto de los usos de suelo. La mayor distancia, indica un mayor grado de aislamiento, aumentando de esta forma, el grado de fragmentación. Los otros tipos de cobertura de suelo fueron menos fragmentados (Cuadro 6). Primack (1998) evidencia que el proceso de fragmentación no ocurre al azar; las áreas más accesibles debido a su topografía poco accidentada y con alta productividad son las primeras en ser alteradas para la agricultura, los asentamientos humanos o la extracción forestal. Estas perturbaciones modifican o alteran la composición de las especies y la estructura del bosque (Useche 2006).

Cuadro 6. Índices de fragmentación a nivel de parches de tipos de usos de suelo en Belén y Matiguás, Nicaragua

Métricas	Bosque ripario	Bosque secundario	Charrales	Cultivos	Cercas vivas	Potreros alta cobertura arbórea	Potreros baja cobertura arbórea	Sistemas Agroforestales	F	p
Belén										
Área (ha)	0.53 ± 0.2 ab	9.76 ± 2.38 d	4.7 ± 1.28 b	2.9 ± 1.29 b	0.49 ± 0.07 a	4.49 ± 0.57 c	4.4 ± 0.66 b	1.41 ± 0.15 b	1.99	<0.0001
Forma	2.27 ± 0.22 bc	2.91 ± 0.22 c	2.29 ± 0.1 b	1.58 ± 0.06 a	3.2 ± 0.15 c	2.05 ± 0.06 b	2.12 ± 0.08 b	1.52 ± 0.03 a	32.18	<0.0001
Dimensión fractal	1.2 ± 0.01 de	1.18 ± 0.01 d	1.15 ± 0.01 cd	1.09 ± 0.01 a	1.27 ± 0.01 e	1.13 ± 0.004 b	1.14 ± 0.08 bc	1.09 ± 0.0032 a	50.96	<0.0001
Distancia al vecino más cercano	1208.84 ± 289.81	103.58 ± 24.85 bc	38.57 ± 3.05	74.49 ± 24.79 a	124.29 ± 12.63 d	66.87 ± 5.69 b	45.59 ± 0.0047 a	117.82 ± 11.22 c	29.69	<0.0001
Matiguás										
Área (ha)	0.59 ± 0.07 a	4.95 ± 4.95 f	4.29 ± 0.86 bc	2.04 ± 0.23 bcd	8.83 ± 1.45 d	26.59 ± 8.53 e	1.6 ± 0.14 cd	9.14 ± 5.57 b	74.19	<0.0001
Forma	5.3 ± 0.28 d	1.76 ± 1.76 b	3.29 ± 0.32 c	1.47 ± 0.05 a	2.08 ± 0.08 c	2.26 ± 0.15 b	1.82 ± 0.21 b	3.69 ± 1.53 a	72.8	<0.0001
Dimensión fractal	1.36 ± 0.01 e	1.1 ± 1.1 b	1.2 ± 0.02 d	1.08 ± 0.01 a	1.12 ± 0.0048 b	1.12 ± 0.01 bc	1.12 ± 0.03 c	1.19 ± 0.04 a	133.26	<0.0001
Distancia al vecino más cercano	64.74 ± 4.75 b	180.4 ± 180.4 e	143.9 ± 67.84 a	402.57 ± 53.98 cd	84.69 ± 11.28 c	34.8 ± 3.83 a	544 ± 483.8 a	372.47 ± 129.86 de	30.94	<0.0001

4.5 Conclusiones y recomendaciones

- Los paisajes de Matiguás y Belén se caracterizan por ser paisajes perturbados y dominados por pasturas, parches de bosques secundarios y charrales. Los parches de pastura con baja y con alta cobertura arbórea son los tipos de cobertura del suelo predominantes, formando una matriz que en conjunto representan el 72% del área total. En segundo lugar están los bosques secundarios, cubriendo el 12% del total del área.
- La forma de relieve más predominante en ambos sitios fueron las pendientes abiertas, que tienen un 15% de pendiente, seguida de las planicies, en donde se concentraron mayormente las áreas de potreros. Sin embargo, el relieve y los diferentes usos de suelo no presentan una correspondencia específica, encontrándose los diferentes usos de suelo distribuidos por todo el paisaje.
- De las métricas analizadas (el área, la forma, el índice de dimensión fractal y la distancia al vecino más cercano) para los tipos de cobertura de suelo, el índice de forma fue el que mostró diferencias, indicando que los bosques secundarios tienen una forma más compleja que los demás tipos de cobertura del suelo.

4.5.1 Recomendaciones

- La resolución del modelo de elevación digital utilizado (90 m) no permitió encontrar un patrón específico de usos de suelo, por lo que se recomienda utilizar un modelo de elevación digital con menos resolución con distancias de las curvas a nivel de 10 m.
- Para hacer análisis del paisaje tomar en cuenta que las áreas sean similares y tener una misma resolución en el mapeo para que puedan ser comparables.

4.6 Bibliografía

- Beer, J.; Harvey, C.A.; Ibrahim, M.; Harmand, J.M.; Somarriba, E.; Jiménez, F. 2003. Servicios ambientales de los sistemas agroforestales. *Agroforestería en las Américas* 10 (37-38): 81- 84.
- De Haan, C. 2004. Cees de Haan: promotor de los sistemas silvopastoriles como alternativa al desarrollo rural. *Agroforestería en las Américas* 9 (33-34) p. 7.
- Environmental Systems Research Institute (ESRI). 1998. Generalidades de los SIG: un white paper de ESRI (en línea). Santiago, INCOM. Consultado agost. 20 del 2009. Disponible en <http://www.incom.cl>.
- Harvey C; Alpizar F; Chacón M; Madrigal, R. 2005. Assessing linkages between agriculture and biodiversity in Central America: Historical overview and future perspectives. Mesoamerican and Caribbean Region, Conservation Science Program. San José, CR, The Nature Conservancy (TNC). 140 p.
- _____; Tucker, NIJ.; Estrada, A. 2004. Live fences, isolated tress, and windbreaks: tools for conserving biodiversity in fragmented tropical landscapes. In Schroth, G., da Fonseca, GAB., Harvey, CA., Gascon, C., Vasconcelos, HL., Izac, AN. (Eds). *Agroforestry and Biodiversity Conservation in Tropical Landscapes*. Island Press. USA. p. 261 – 289.
- Holdridge, LR. 1978. *Ecología basada en zonas de vida*. San José, CR, IICA. 216 p. (Serie Libros y Materiales Educativos IICA no. 34).
- INETER (Instituto nicaragüense de estudios territoriales). 2000. Zonificación de la III y IV región. Informe de Campo. INETER, Managua, Nicaragua, En prensa. 18 p.
- INIFOM (Instituto Nicaragüense de Fomento Municipal). 2005. Ficha municipal de Matiguás. Consultado 10 noviembre 2008. Disponible en <http://www.inifom.gob.ni/docs/>
- Jenness, J. 2006. Topographic Position Index (TPI). Consultado septiembre 10, 2009. Disponible en <http://www.jennessent.com/arcview/tpi.htm>.
- López, R; García, A. 2002. Composición florística y estructural de las especies arbóreas en el bosque seco secundario de la finca “Santa Ana”. Tesis de diploma. Managua, NI, Universidad Nacional Agraria. 100 p.
- MAGFOR (Ministerio de Agricultura, Ganadería y Forestal) 2001. Información cartográfica. MAGFOR.NI.

- McGarigal, K; Cushman, SA; Neel, MC; Ene, E. 2002. FRAGSTATS: Spatial Pattern Analysis Program for Categorical Maps. Computer software program University of Massachusetts, Amherst. Disponible en:
www.umass.edu/landeco/research/fragstats/fragstats.html.
- Murgueitio e Ibrahim, M. 2004. Ganadería y medio ambiente en América Latina. XII congreso Venezolano de producción e Industria animal. (en línea) Consultado 2 oct. 2009. Disponible en:
www.avpa.ula.ve/congresos/memorias_xiicongreso/pdfs/11_conferencias/11_conferencia_Murgueitio_pag187-202.pdf
- Pomareda, C. 1999. Situación y perspectiva de la ganadería e industrias afines en Centroamérica. *In* Taller regional sobre desafíos y oportunidades de la ganadería e industrias afines en Centroamérica. Consejo agropecuario centroamericano/Proyecto RUTA-Banco Mundial. Guatemala, Guatemala. 12 p.
- Primack, B. 1998. Essentials of conservation Biology. 2da edición, Ed. Sinauer Associates, Massachusetts-USA, 660 pp.
- Rocha, LR. 2002. Cambio en el uso del suelo y factores asociados a la degradación de pasturas en la Cuenca del Rio Bulbul, Matiguás, Nicaragua. Tesis Mag. Sc. CATIE, Turrialba, CR. 99 p.
- Rutledge, D.2003. Landscape indices as measures of effects of fragmentation: can pattern reflect process?. DOC Science Internal Series 98, Department of Conservation. Wellington, New Zealand. 27 p.
- Sadeghian, S; Murguitio, E; Mejía C; Rivera JM. 2001. Ordenamiento ambiental y reglamentación del uso y manejo del suelo en la zona cafetera. *In* Suelos del eje cafetero. Pereira, CO, Universidad Tecnológica de Pereira-GTZ-Fondo editorial del departamento de Risaralda. p. 96-108.
- Sánchez, D; Harvey, C.; Grijalva, A.; Medina, A.; Vílchez, S.; Hernández, B. 2005. Diversidad, composición y estructura de la vegetación en un agropaisaje fragmentado de bosque en Rivas, Nicaragua. Recursos Naturales y Ambiente. 45: 91- 104.
- _____.2005. Diversidad, composición y estructura de la vegetación en un agropaisaje fragmentado de bosque en Matiguás, Nicaragua. Rev. Biol. Trop. 53 (3-4): 387-414.
- Stevens, W; Ulloa, C; Pool, A; Montiel, O. 2001. Flora de Nicaragua. Monographs in Systematic Botany. Missouri Botanical Garden. 2666 p.

- Useche, D C, 2007. Diseño de redes ecológicas de conectividad para la conservación y restauración del paisaje en Nicaragua, Centroamérica. Tesis Mag. Sc. CATIE, Turrialba, CR. 233 p.
- Vilchez, S.J. 2008. Efecto de la composición y estructura del paisaje y del hábitat sobre distintos grupos taxonómicos en un agropaisaje en Matiguás, Nicaragua Tesis Mag. Sc. CATIE, Turrialba, CR. 103 p.
- Weiss, A. (2006). Topographic Position Index (TPI). Consultado septiembre 10, 2009.
Disponible en http://www.jennessent.com/downloads/TPI-poster-TNC_18x22.pdf

5 ARTICULO 2. PATRONES ESPACIALES DEL SOMBREADO DE LA COBERTURA ARBÓREA EN SSP PRESENTES EN PAISAJES AGROPECUARIOS DE MATIGUÁS Y BELÉN, NICARAGUA

5.1 Introducción

En América Central, el área de pasturas representa un 46% del total (18.4 millones de hectáreas), siendo uno de los usos de la tierra más importantes (Kaimowitz 2001). Es una de las principales actividades económicas para la generación de ingresos y de empleo permanente para la población rural (CATIE 2002). En Nicaragua, el área de pasturas a finales del siglo XX ya habían alcanzado 4.2 millones de hectáreas, ocupadas con 2.65 millones de cabezas de ganado (Szott y Beer 2000). Por otra parte las pasturas naturalizadas cubren la mayor parte de las áreas de pastoreo y son la base de la producción bovina (CATIE 2002).

La presencia de los árboles en las áreas ganaderas constituye una alternativa de explotación de los recursos naturales de inapreciable valor. Los aportes que los árboles hacen al ecosistema son variados e incluyen por ejemplo; su uso como fuente alternativa para la alimentación animal, entre otros. A partir de estos beneficios se han considerado los sistemas silvopastoriles (SSP); un sistema de producción donde se combinan árboles o arbustos con pastos y ganado en una misma unidad de tierra, pudiendo ser una forma de producción sostenible (Nair 1997). Como resultado de esta asociación se generan interacciones ecológicas y/o económicas entre sus componentes (árboles, pastos, animales y el suelo; Nair 1997). Estas combinaciones pueden ser simultáneas o secuenciales, teniendo como principal objetivo; optimizar la producción del sistema y procurar un rendimiento sostenido, mejorando las condiciones de manejo dentro de un sistema agroforestal (SAF; Combe y Budowski 1979, Solórzano *et al.* 1998). Constituyen además, una alternativa de explotación de los recursos naturales de suma importancia para los productores. Existen varios estudios acerca de los efectos de los árboles sobre la productividad de las pasturas; pero los resultados son muy variados. Algunos de ellos demuestran que se obtienen efectos positivos sobre la productividad del estrato herbáceo (Belsky *et al.* 1993; Giraldo *et al.* 1995, Bolívar 1998). Otros establecen reducciones en la productividad de las pasturas (Carvalho 1997, Velasco 1998, Gamboa 2009).

Algunos de los factores que afectan la productividad de las pasturas están referidos a las características de los árboles, entre éstas; la arquitectura, la forma, la altura, el tipo de copa (profundidad, densidad, longitud), debido a que éstas tienen influencia directa en la cantidad de radiación que pasa al estrato herbáceo (Solórzano *et al.* 1998). Además, la mayoría de las especies de gramíneas tropicales son de camino fotosintético C4, con una capacidad limitada de tolerar la sombra, lo cual disminuye su frecuencia y productividad cuando se encuentran en sitios con baja intensidad lumínica, al contrario de las plantas C3 (p. ej. leguminosas) que toleran más estas condiciones (Giraldo *et al.* 1995).

La provisión de sombra para el ganado es una de las principales razones por la cual los productores dejan árboles en los potreros, por ello el conocimiento de la sombra como parte de la interacción del árbol- ganado es muy amplia (Muñoz, 2003). A pesar de la posible disminución de la productividad del pasto, los productores tratan de mantener árboles en los pastizales con el objetivo de proveer sombra para dar confort al ganado. Principalmente en la temporada seca, los animales se agitan y disminuyen la ingesta (Muñoz, 2003). Sin embargo, hasta el momento se conoce poco qué especies producen una sombra óptima y qué arreglos espaciales tienen el potencial de maximizar los beneficios y/o minimizar los efectos negativos del sombreado en los SAF. El objetivo del estudio consistió en modelar el impacto de los arreglos espaciales de los árboles sobre la sombra proyectada a nivel de potrero, utilizando el programa Shademotion. El programa permitió medir el grado de sombra generado a nivel del potrero, a partir de la caracterización arbórea, considerando para la simulación, algunas características dasométricas como; el diámetro de copa, la altura de copa y la altura de tronco.

Con este estudio se pretendió generar conocimiento sobre el grado de sombra que emiten los árboles en potreros, según su arreglo espacial y estructura, lo cual contribuiría a establecer diseños espaciales de los árboles y prácticas de manejo para reducir la influencia de la sombra en la productividad de las pasturas.

5.2 Materiales y métodos

5.2.1 Sitio de estudio

El estudio se realizó en Belén y Matiguás, Nicaragua (Fig. 6), como parte del proyecto SILPAS. Matiguás es un municipio ubicado en el departamento de Matagalpa y representa la zona ganadera de las tierras altas centrales de Nicaragua. Este municipio tiene una extensión territorial de 1,710 km², siendo uno de los municipios más grandes en extensión del departamento de Matagalpa. Se localiza a 85°27' de latitud Norte y 12°50' de longitud Oeste, a una altura de 200 a 300 msnm, la topografía del terreno es ondulada con pendientes entre 30 a 50% y predominan los suelos arcillosos. (MAGFOR, 2001). La temperatura media anual es de 27°C (INIFOM 2005). Las temperaturas más altas se alcanzan en los meses de marzo y abril, registrando extremas de 41.0° C. La precipitación media anual es de 1800 a 2000 mm (INIFOM 2005). Sin embargo, existe una estación seca bien marcada. Dentro de la clasificación de Holdridge (1978) esta zona es considerada como Bosque sub-húmedo Tropical. Las comunidades estudiadas corresponden a la microcuenca del Río BulBul.

El municipio de Belén, se ubica en el departamento de Rivas. Se localiza a 11°30' de latitud Norte y 85°53' de longitud Oeste. La altitud oscila entre 100 y 200 msnm, la topografía es plana y los suelos son de tipo vertisol y molisol. La temperatura media varía entre los 23 °C y 33°C y la precipitación promedio anual es de 1400 mm (INETER, 2000). Según la clasificación de Holdridge (1978), la zona de vida pertenece al Bosque Seco Tropical. Este municipio representa los paisajes ganaderos de la costa pacífica del país, siendo un mosaico dominado por pasturas, con pequeños parches de cultivos agrícolas y bosque.

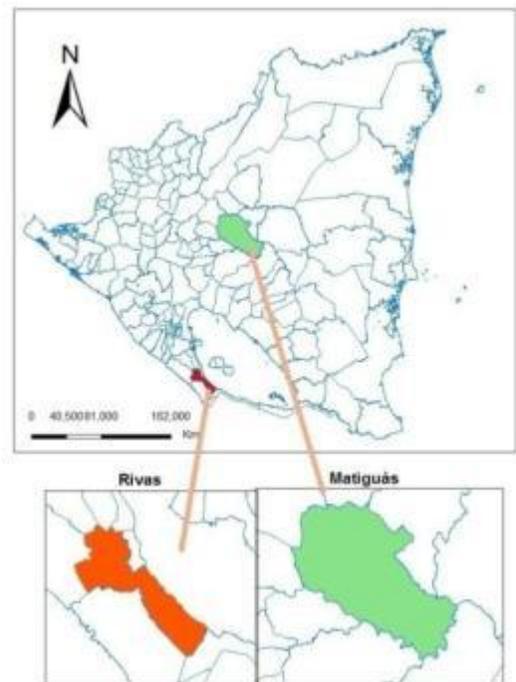


Figura 6. Ubicación de los sitios de estudio

5.2.2 OE2. Modelación del nivel de sombreado de la cobertura arbórea en los SSP

5.2.2.1 Obtención de datos

Se seleccionaron 45 potreros en Matiguás (ubicados en dos comunidades: Limas Arriba y Limas Abajo) y 19 potreros en Belén (ubicados en las comunidades de Mata de Caña, San Marcos y Las Mesas), en total 64 potreros, incluyendo las cercas vivas (muestreo de 12 potreros). Los tamaños de los potreros fueron considerados en base a la información de la base de datos del proyecto GEF y FRAGMENT (2003, 2007).

5.2.3 Caracterización de los potreros en función del componente arbóreo

Se realizó un censo de los árboles en 61 potreros de Matiguás y Belén, inventariando todos los árboles (con dap >20 cm). Se recopiló información sobre las especies presentes y las características dasométricas de cada individuo como la altura total, la altura de la copa, el diámetro a nivel del pecho (dap) y el diámetro de la copa. Se calcularon la densidad de árboles/ha y el porcentaje de la cobertura arbórea (Anexo 1 y 2). Las mediciones de altura de la copa, la altura del tronco y el diámetro de la copa fueron las variables utilizadas para modelar el nivel de sombra proyectada por cada individuo en el potrero. El área del potrero fue calculada utilizando el programa Arcgis v.9.3. Para cada potrero se calculó la diversidad de especies por medio del índice de Shannon y el índice de Simpson (1/H). Con la información obtenida sobre la georeferenciación de los árboles, se elaboró un mapa base con una unidad de cartografía de 1:5000, reflejando la distribución de los potreros en el paisaje, la de los árboles y la de las proyecciones de copas en cada potrero (Fig. 7). Para las cercas vivas se realizó un muestreo en 12 potreros (8 potreros de Matiguás y 4 potreros en Belén), inventariando todos los árboles (con dap >10 cm). También fueron medidos el diámetro de la copa, la altura del tronco, la altura de la copa, el área de la copa y el número de árboles por cada especie presente, para modelar el área de sombra generada por las cercas vivas.

Cobertura arbórea (CA): Para este efecto fueron medidos los diámetros mayor (D_i) y menor (D_j) de las copas de todos los árboles con $dap \geq 20$ cm (tienen mayor tamaño de copa y mayor área de sombra) en los 61 potreros y en las cercas vivas los de $dap \geq 10$ cm. Las áreas de las proyecciones de las copas de todos los árboles fueron sumadas y divididas por el área del

potrero para obtener la cobertura total. La cobertura arbórea de cada potrero se estimó mediante la siguiente fórmula (Adaptada de Lemus 2008): $AC: \pi D_1 / 2 * D_2 / 2$ donde;

AC= área de copa

D_1 = diámetro copa 1

D_2 = diámetro copa 2

$\pi = 3.1416$

Con el área de copa de todos los árboles y el área del potrero se estimó la cobertura arbórea por hectárea. La cobertura se expresó en porcentaje (%), utilizando la siguiente fórmula (Adaptada de Lemus 2008):

$\% CA = \Sigma AC / AP * 100$; donde,

AC = área de copa

ΣAC = Sumatoria de las proyecciones de las copas de árboles

AP = Área total del potrero

100 = Factor de conversión a %

Para cada potrero se hicieron estimaciones de frecuencia por clases; de la cobertura arbórea (2-12, 12-22, 22-30, > 30%) y de la densidad arbórea (3-15, 15-26, 26-38, 38-50, >50%), considerando el límite inferior y el límite superior de la tabla de frecuencia en el programa Infostat (2009), con el fin de conocer la distribución de la cobertura y la densidad arbórea en el área de estudio. Los datos obtenidos de las mediciones de árboles fueron analizados mediante estadística descriptiva, ANOVA y regresión lineal en el programa Infostat (2009).

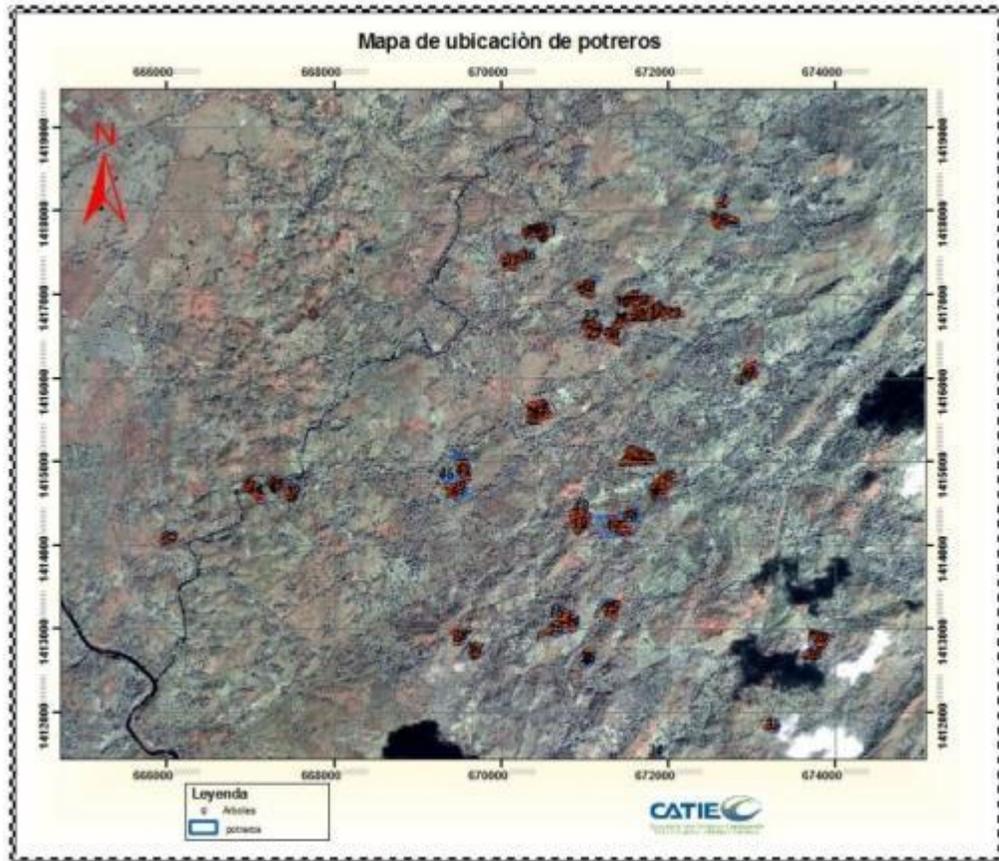


Figura 7. Ubicación de los potreros y árboles georeferenciados en Matiguás

5.2.4 Modelación de sombra de árboles en potreros

Para la simulación de sombra, se utilizó el software Shademotion v 2.1 (Quesada *et al.* 2007). Este programa se basa en algunas hipótesis básicas con el fin de determinar la gran cantidad de factores que pueden incidir en la proyección de sombra, entre estas:

- Considera la fenología de las especies a modelar.
- Las copas de los árboles tienen sólo tres posibles tipos de forma: elipsoidales, semielipsoidales o cónicas.
- Se desprecia la sombra proyectada por el tronco por considerarse que es, comparativamente, mucho más delgado que la copa.
- Al momento de modelar considerar la verdadera forma de la copa de un árbol, constituida por miles de hojas y ramas en constante movimiento por la acción del viento.

La modelación fue realizada con previa caracterización de los árboles, en función de la altura del tronco, la altura de la copa, el diámetro de la copa, la forma de la copa y su ubicación en el potrero. Partiendo de la georeferenciación de cada árbol dentro del potrero y a los efectos de la simulación, se consideró un sistema de ejes cartesianos (x,y) para obtener los valores de las coordenadas x, y . Se escalaron los datos de cada uno de los árboles, incluyendo las cercas vivas, utilizando los valores de las coordenadas x mínimo - máximo, y mínimo - máximo de cada potrero (Fig. 8). Los valores obtenidos se introdujeron en el programa Excel aplicando la siguiente fórmula:

Para el eje de las x : **Ex: $x_a - (x_{\min}-x_{\max})*200/(x_{\min}-x_{\max})$** , donde;

Ex: Escala x

x_a : punto coordenadas “ x ” del árbol

x_{\min} : Coordenada del eje x mínimo del área del potrero

x_{\max} : Coordenada del eje x máximo del área del potrero

200: Área en metros representada en la cuadrícula de Shademotion

Para el eje de las y : **Ey: $y_a - (y_{\min}-y_{\max})*200/(y_{\min}-y_{\max})$** , donde;

Ey: Escala y

y_a : punto coordenadas “ y ” del árbol

y_{\min} : Coordenada del eje y mínimo del área del potrero

y_{\max} : Coordenada del eje y máximo del área del potrero

200: Área en metros representada en la cuadrícula de Shademotion

Los valores obtenidos de la escala x,y , y las mediciones dasométricas de los árboles (el diámetro de copa, la altura de copa, la altura del tronco) y el tipo de copa (forma de copa: elipsoidal, semielipsoidal y cónica) fueron las variables utilizadas en Shademotion para obtener la proyección de sombra de los árboles en cada potrero. El programa permite asignar un valor de densidad de copa de cada árbol. La mayoría de las copas producen sombras dentro de las cuales se pueden distinguir agujeros de luz, por tanto entre más densa sea la copa, menor cantidad de luz podrá pasar a través de ésta (Quesada *et al.* 2007). Considerando éste factor se estableció la simulación de sombra con especies totalmente densas (100% opacidad) y especies con variaciones de sombra a tres niveles (30, 50 y 60% de opacidad; Anexo 3). Los

cambios de opacidad⁴ se generaron con el fin de evaluar el efecto del nivel de sombreado en los potreros simulados con especies totalmente densas y potreros con especies caducifolias. Los distintos grados de opacidad se ajustaron considerando las características de la especie.

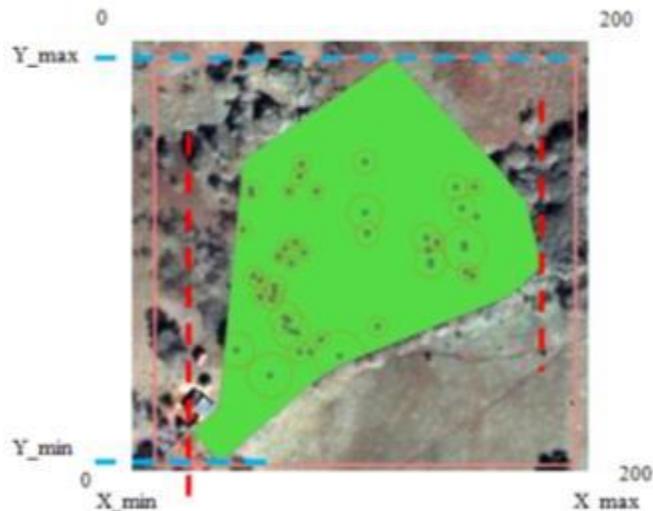


Figura 8. Escaneo del potrero con las coordenadas x,y para introducir los datos en Shademotion. Las líneas verticales (punteadas en rojo) indican el eje x, y las líneas horizontales (punteadas en celeste) indican el eje y.

Los rangos de tiempo para la simulación se realizaron entre 8:00 a.m a– 4:00 p.m. El total de horas obtenidas de la simulación de la sombra de todos los individuos juntos presentes en cada potrero y por ha, se dividió entre 1000 como un valor constante para simplificar el valor de sombra expresado como miles de horas/ha/día. Se utilizó el programa Infostat (2009), aplicando las medidas resumen para obtener un rango del valor de la sombra a partir del límite inferior y el límite superior. Los valores cercanos a 1 indicaron que los potreros recibieron una baja cantidad de horas de sombra y los valores más altos correspondieron a los potreros que recibieron mayor cantidad de horas de sombra durante el año. Se obtuvieron mapas de sombreado en Shademotion, que muestran el patrón de sombra y la cantidad total de horas de la sombra acumulada en cada punto (celda) del potrero para el rango de tiempo establecido durante la simulación (para 52 potreros con árboles de los cuales 9 fueron potreros con árboles y cercas vivas y 3 potreros solo con cercas vivas) y de acuerdo a la densidad arbórea de cada potrero.

⁴ La opacidad está referida a la cantidad de sombra proyectada por las distintas especies arbóreas en el potrero.

5.3 Resultados y discusión

5.3.1 OE2. Modelación del nivel de sombreado de la cobertura arbórea

5.3.1.1 Caracterización de los potreros en función del componente arbóreo

5.3.1.1.1 Árboles en potreros

A partir del inventario de árboles se registraron un total de 2198 árboles de 26 familias y 61 especies en 44 potreros de Matiguás, con un promedio de 2.38 ha/potrero. En Belén se registraron 613 árboles de 21 familias y 45 especies en 17 potreros con un promedio de 2.87 ha/potrero (Cuadro 7; Anexo 4). En Matiguás; las 10 especies más abundantes conformaron el 82% del total de especies inventariadas (Cuadro 8). De las 61 especies de árboles, 13 estaban representados por un solo individuo y 5 especies por dos individuos. Dentro de las familias más abundantes están las Fabáceas (n=1105), representadas por el 50% del total de especies.

Cuadro 7. Caracterización de los potreros (árboles > 20 cm dap) para la simulación de sombra en el paisaje de Belén (Rivas) y Matiguás.

Variables	Matiguás	Belén
Árboles inventariados (#)	2198	613
Densidad arbórea/ha (promedio)	21.67	13.48
Dap promedio (cm)	34.62	36.61
Cobertura arbórea (promedio %)	16.21	12
Altura total (promedio m)	11.74	12.11
Altura copa (promedio m)	5.75	5.82
Diámetro copa (promedio m)	27.62	10
Área potrero (ha)	2.38	2.87
Riqueza de especies promedio /potrero	11.3	10.94

En Belén las 10 especies más abundantes conformaron el 70% del total de las especies registradas (Cuadro 8, Anexo 5). Estas especies son usadas para leña, madera y forraje para el ganado, registrando 34 especies en los potreros con alta cobertura y 32 especies en potreros con baja cobertura. Entre las especies más abundantes en el área de estudio, se encuentran *G. ulmifolia*, *E. cyclocarpum*, *C. alliodora* y *T. rosea*. Estas especies comunes tienen uso maderable o son utilizadas como forraje y sombra para el ganado, por lo tanto, los productores las mantienen en los potreros.

Cuadro 8. Especies arbóreas más abundantes en los potreros seleccionados para los modelos de sombra y conectividad en Matiguás y Belén, Nicaragua

Especie	Matiguás			Belén		
	n	Promedio	Abundancia %	n	Promedio	Abundancia %
<i>Guazuma ulmifolia</i> (guácimo)	51	43.54 ± 2.55	16	90	23.63 ± 1.78	15
<i>Enterolobium cyclocarpum</i> (guanacaste)	24	59.67 ± 3.69	15	23	15.96 ± 2.51	4
<i>Albizia saman</i> (genízaro)	67	43.92 ± 2.69	12			
<i>Platymiscium parviflorum</i> (coyote)	45	41.73 ± 3.12	11			
<i>Cordia alliodora</i> (laurel)	16	35.9 ± 2.65	10	50	29.88 ± 2.66	8
<i>Tabebuia rosea</i> (roble)	81	56.75 ± 4.99	8	25	25.6 ± 4.21	4
<i>Cassia grandis</i> (carao)	0	25.36 ± 2.63	3			
<i>Lysiloma auritum</i> (quebracho)	7	40.09 ± 3.36	3			
<i>Gliricidia sepium</i> (madero negro)	2	26.56 ± 2.15	2			
<i>Pachira quinata</i> (pochote)	3	21.88 ± 2.75	2			
<i>Byrsonima crassifolia</i> (nancite)				67	42.9 ± 3.72	11
<i>Crescentia alata</i> (jícara)				64	26.44 ± 2.88	10
<i>Diphysa americana</i> (guachipilin)				30	17.67 ± 3.27	5
<i>Swietenia humilis</i> (caoba)				30	36.13 ± 4.17	5
<i>Spondias purpurea</i> (jocote)				24	23.29 ± 3.17	4
<i>Simarouba amara</i> (aceituno)				23	26.83 ± 3.61	4

Matiguás: Árboles en pasturas: n=2198 individuos, Rivas: Árboles en pasturas: n=613 individuos

5.3.1.1.2 Cobertura arbórea

En los potreros de Matiguás, seleccionados para la simulación de sombra, la cobertura arbórea promedio fue de 16.21% (± 1.67) con un rango de 2.18 a 50.40%, siendo la mayoría (48%) de los potreros los que presentan coberturas arbórea entre 12 a 22% y el 39% de los potreros presentaron coberturas arbóreas menores a 12%. En Belén, la cobertura arbórea promedio por potrero fue de 12% (± 1.19) con un rango de 4 a 20%. El 47% de los potreros presentaron coberturas arbóreas entre 12-22% y el 53% de los potreros entre 2-12% (Fig.9).

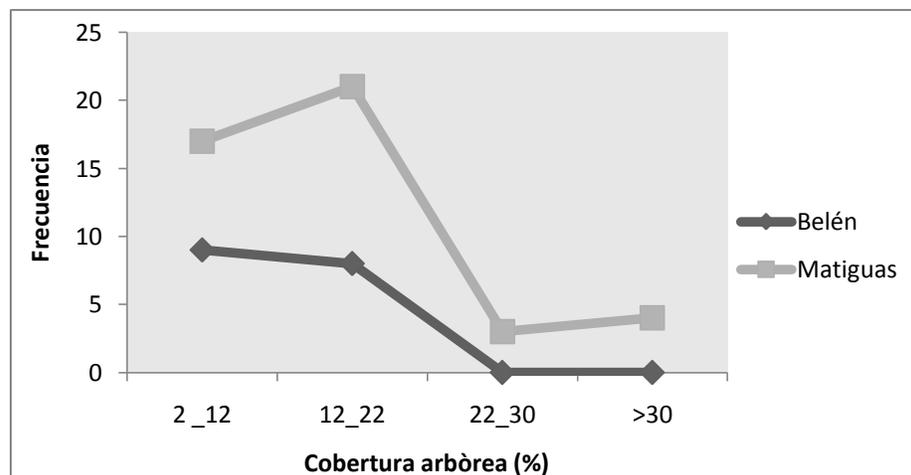


Figura 9. Distribución del porcentaje de cobertura arbòrea en potreros de Belén y Matiguás, seleccionados para la modelación de sombra

5.3.1.1.3 Densidad arbòrea

En Matiguás, de los potreros utilizados para la modelación, la densidad de árboles fue variable, oscilando entre 3.28 y 61.38 árboles ha^{-1} (21.67 ± 2.06 árboles ha^{-1} como promedio), el 64% de los potreros presentó densidades menores a 15 árboles ha^{-1} y el 43% entre 15 y 26 árboles ha^{-1} . En Belén la densidad arbòrea promedio fue de 13.48 (± 1.78) árboles ha^{-1} , también con variaciones importantes entre los potreros (4.44 a 27.72 árboles ha^{-1}). El 65% de los potreros presentó densidades menores a 15 árboles ha^{-1} y el 29% se encontró entre 15 – 26 árboles ha^{-1} (Fig. 10).

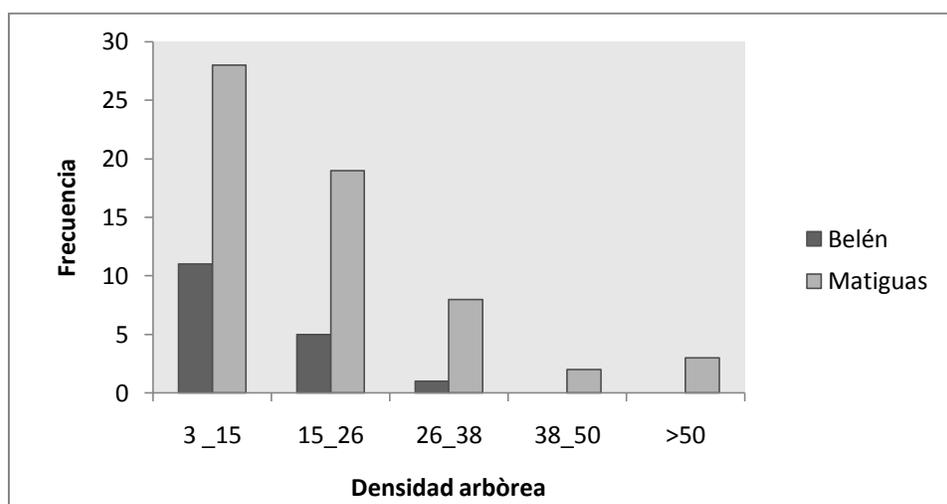


Figura 10. Distribución de la densidad arbòrea en potreros seleccionados de Belén y Matiguás para la modelación de sombra ($n=61$ potreros)

En el muestreo de cercas vivas (12 potreros) se encontraron 885 individuos (662 árboles de 14 familias y 30 especies en Matiguás y 223 árboles de 18 familias y 30 especies en Belén) en 6234 m. Las especies más abundantes en Matiguás correspondieron a jiñocuabo (*Bursera simaruba*) y pochote (*Pachira quinata*). En Belén, hubo mayor abundancia de tigiüilote (*C. dentata*) y madero negro (*G. sepium*) (Anexo 5).

5.3.2 Modelación de sombra de árboles en potreros

5.3.2.1 Simulación de escenarios de sombra de árboles en potreros

5.3.2.1.1 Opacidad de copas con 100%

Los valores de sombra obtenidos en los potreros de Matiguás variaron entre 1.3 y 57 mil horas/ha/día, con valores promedios de 14.3 (± 1.54) mil hrs/ha/día. En Belén, los valores de sombra variaron entre 1.4 y 22 mil horas/ha/día, con valores promedios de 11.7 (± 1.50) mil horas/ha/día por potrero. Sin embargo, según el ANOVA, no hubieron diferencias estadísticas entre los potreros ($p > 0.05$). El periodo de la simulación y la densidad de árboles están estrechamente relacionados con el porcentaje de sombra generada en cada potrero y las variaciones de luz durante el día. Bustamante (1991) en su estudio encontró que las gramíneas recibieron menor cantidad de luz en los muestreos realizados a las 9:00 a.m. Sin embargo, cuando el sol está en el zenit (11:30 a.m) hubo un aumento sustancial de la luz incidente, igual situación presentaron las mediciones realizadas a las 2:00 p.m.

5.3.2.1.2 Variaciones de sombreado

En los potreros de Matiguás, los valores de sombra obtenida variaron entre 1 y 25 mil horas/ha/día con valores promedios de 7 (± 0.72) mil horas/ha/día. En Belén, los valores de sombra variaron entre 0.63 y 11 mil horas/ha/día con valores promedios de 5.4 (± 0.68) mil horas/ha/día (Anexo 5). Según el ANOVA, no hubo diferencias significativas en la proyección de sombra de los árboles en los potreros. Sin embargo, las especies presentes en Matiguás, entre éstas; el guanacaste (*E. cyclocarpum*), el genízaro (*A. saman*), el coyote (*P. parviflorum*), el carao (*C. grandis*) y el pochote (*P. quinata*) proyectan mayor área de sombreado y son menos abundantes en Belén. Por otra parte hubo diferencias en cuanto al tipo de arreglo espacial. Los árboles en los potreros, generalmente presentaron una distribución regular y aleatoria.

En relación a la simulación de la sombra que proyectan los árboles y las cercas vivas en cada potrero se pudieron observar las diferencias en la cantidad de horas de sombra acumuladas según la densidad arbórea ha^{-1} y el rango establecido para cada simulación. Como era de esperar, el nivel de sombreado en los potreros fue mayor a medida que aumentó la densidad de árboles y el cambio en el porcentaje de opacidad (con el 100%; Fig. 11a y 12a y con variaciones de 30, 50 y 60% de opacidad; Fig. 11b y 12b; Cuadro 9). Las variaciones de color distinguen visualmente las celdas que recibieron más o menos sombra. El tono gris indicó la atenuación de las horas de sombra (Fig.11 y 12). Las diferencias en el nivel de sombreado se debieron también a la distribución de los árboles. Los árboles en los potreros que tienen una distribución más regular, resultan en una mayor proyección de sombra.

Cuadro 9. Nivel de sombreado en densidades arbóreas mínima y máxima en potreros de Matiguás y Belén. Nicaragua

	Opacidad del 100%		Variación de opacidad (30, 50 y 60%)	
	Matiguás	Belén	Matiguás	Belén
*Densidad mínima (mil horas/ha/día)	3	7	1.3	3
**Densidad máxima (mil horas/ha/día)	37	22	18.5	11

**3.28 árboles ha^{-1} /Matiguás y 4.4 árboles ha^{-1} /Belén. **61.38 árboles ha^{-1} /Matiguás y 27.72 árboles ha^{-1} /Belén. Los valores de la tabla están expresados en 1/1000 unidades*

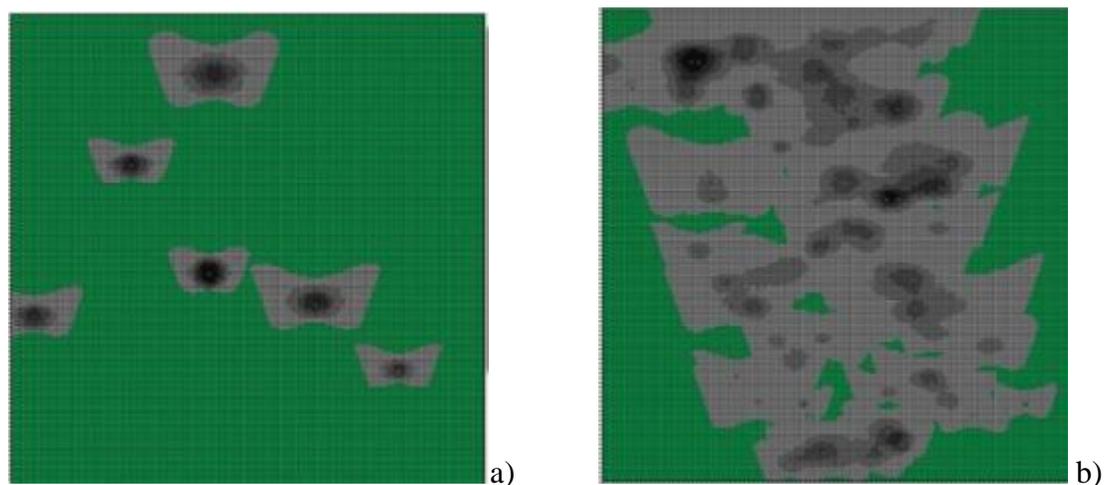


Figura 11. Simulación de sombra en potreros con árboles dispersos. a) baja densidad arbórea (3.28 árboles ha^{-1}) y b) alta densidad arbórea (61.38 árboles ha^{-1}) Matiguás, Nicaragua.

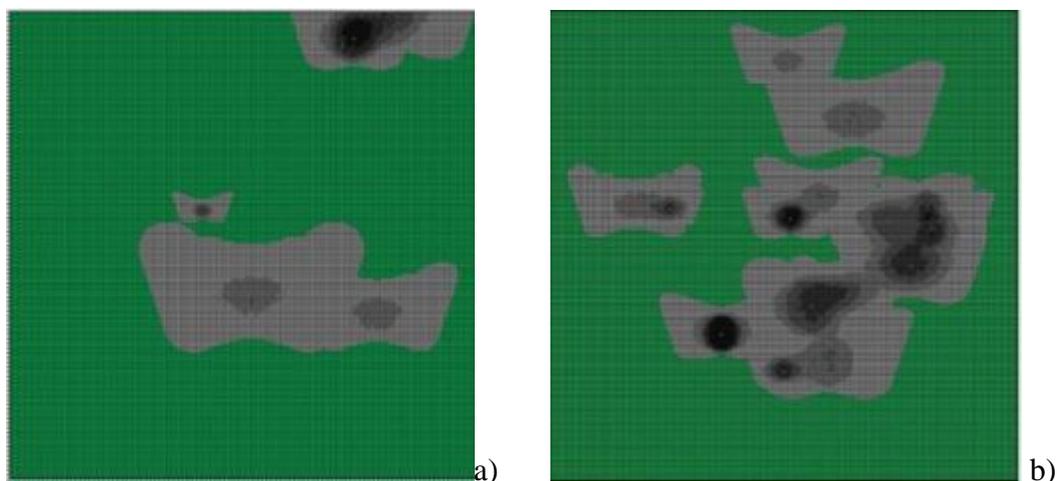


Figura 12. Simulación de sombra en potreros con árboles dispersos. a) baja densidad arbórea (4.44 árboles ha^{-1}) y b) alta densidad arbórea (27.72 árboles ha^{-1}). Belén, Rivas.

Se encontraron diferencias entre la densidad arbórea de los potreros, pero no en el porcentaje de la cobertura arbórea, ni en el área sombreada ($p > 0.05$). Hubo también diferencias significativas en las cercas vivas. Las altas densidades de árboles pueden provocar la disminución de la productividad de la pastura (Ruso y Botero 2005). Cuando las densidades son bajas se modifica favorablemente el flujo y la captación de energía radiante en el estrato inferior de la vegetación herbácea aumentando la producción de materia seca del pastizal (Acciaresi *et al.* 1994). Lo ideal es mantener una sombra adecuada que permita mejorar la productividad de las pasturas. Penton y Blanco (1996) mostraron que cuando el nivel de sombra superó el 26 %, el rendimiento del pasto se vio afectado, siendo influido por las características de las especies dentro de un SSP (en este caso caracterizado en su estrato arbóreo por la presencia de *Albizia lebbek*) y no precisamente por efecto de la densidad arbórea. Es importante plantear que además de la densidad de árboles, la estructura y composición de las especies arbóreas constituyen los factores principales que regulan el régimen lumínico.

Considerando las 10 especies de árboles más abundantes, no se encontraron diferencias en relación al área promedio de la copa (m^2), entre los potreros ($p > 0.05$), pero sí hubo diferencias entre especies ($p < 0.0001$). Las especies con mayor área de copa fueron el genízaro (*A.saman*), el quebracho (*L. auritum*), el guanacaste (*E. cyclocarpum*), el jícaro (*C. alata*), el guácimo (*G. ulmifolia*) y la caoba (*S. humilis*). Las especies con mayor altura fueron el coyote (*P. parviflorum*), el carao (*C. grandis*), el madero negro (*G. sepium*), la caoba (*S. humilis*), el

roble (*T. rosea*) y el laurel (*C. alliodora*; Cuadro 10). Según Solórzano *et al.* (1998) la arquitectura de los árboles (altura, tamaño y forma de la copa) son determinantes para el ambiente lumínico a nivel del suelo y para la vegetación herbácea que crece debajo de sus copas. En su estudio explica que a mayor altura de la copa, mayor fue la entrada de luz lateral. Esta variación en la cantidad de radiación modifica las condiciones microclimáticas (temperatura, humedad) a nivel del suelo.

En las cercas vivas existieron diferencias con respecto al área de copa ($p < 0.0001$) con un promedio de $27.53 (\pm 1.34) \text{ m}^2$ en los potreros de Matiguás. Las especies de mayor área de copa fueron el guácimo (*G. ulmifolia*), el madero negro (*G. sepium*), el helequeme (*Erythrina berteroana*) y el jocote (*Spondia mombin*). En Belén, el promedio fue de $56.97 (\pm 2.51) \text{ m}^2$. Entre las especies con mayor área de copa sobresalen; el guanacaste (*E. cyclocarpum*), el ñambar (*Dalbergia retusa*), el jocote (*S. mombin*) y el papaturro (*Coccoloba sp.*; Anexo 7).

Cuadro 10. Promedios de las 10 especies más abundantes en relación a las características estructurales de los árboles en potreros de Matiguás y Belén

Especies	Matiguás				Belén			
	n	Dap (cm)	Altura total (m)	Área de copa (m ²)	n	Dap (cm)	Altura total (m)	Área de copa (m ²)
<i>Enterolobium cyclocarpum</i>	283	42.16 ± 18.01 e 32.54 ± 15.1 bc	12.28 ± 4.85 c	153.18 ± 122.8 ef	90	31.86 ± 11.43 ab	11.68 ± 3.04 c	105.78 ± 143.47 bc
<i>Guazuma ulmifolia</i>	255	bc	8.92 ± 3.12 a	124.14 ± 99.53 d				
<i>Platymiscium parviflorum</i>	218	29.13 ± 7.82 ab 39.84 ± 20.86 de	14.32 ± 4.26 d	73.89 ± 57.35 ab				
<i>Albizia saman</i>	217	26.68 ± 6.7 a	12.38 ± 3.52 c	183.32 ± 151.81 f		28.82 ± 6.47 a		
<i>Cordia alliodora</i>	180	29.11 ± 8.87 ab	11.11 ± 3.47 b	63.25 ± 45.79 a	50	36.26 ± 16.37 bc	12.74 ± 3.38 c	64.38 ± 93.17 a 82.48 ± 110.39 ab
<i>Tabebuia rosea</i>	149	33.38 ± 12.81 bc 36.08 ± 17.05 cd	14.29 ± 5.18 d	146.91 ± 91.26 de	25		12.92 ± 3.7 c	ab
<i>Cassia grandis</i>	62	28.97 ± 8.92 ab	11.73 ± 4.9 cd	176.55 ± 130.31 ef				
<i>Lysiloma auritum</i>	40	17.05 cd	13.36 ± 4.73 cd	109.33 ± 73.58 cd				
<i>Gliricidia sepium</i>	39	60.01 ± 39.08 f	12.26 ± 5.94 bc	147.89 ± 124.36 def				
<i>Pachira quinata</i>	27					28.63 ± 8.94 a	9.78 ± 2.71 b	79.48 ± 93.99 ab
<i>Byrsonima crassifolia</i>					67	37.22 ± 12.43 c	8.63 ± 1.91 a	141.08 ± 98.82 c
<i>Crescentia alata</i>					64	34.5 ± 13.87 abc	12.71 ± 3.98 c	78.15 ± 98.19 ab
<i>Diphysa americana</i>					30	28.57 ± 10.18 a	12.17 ± 2.6 c	74.11 ± 111.9 ab
<i>Simarouba amara</i>					23	36.48 ± 14.93 ± 3.03	14.93 ± 3.03	103.36 ± 133.17 abc
<i>Swietenia humilis</i>					30	12.35 bc	d	abc

Letras distintas indican diferencias significativas ($p < 0.05$)

5.3.2.2 Simulación de escenarios de sombra de árboles más cercas vivas

5.3.2.2.1 Opacidad de copas con 100%

Cuando se incluyeron las cercas vivas y árboles dentro de un potrero, se generó un mayor nivel de sombreado en los potreros simulados. Los mayores valores de sombra obtenida se presentaron en los potreros de Matiguás con variaciones entre 9 y 46 mil horas/ha/día, y valores promedios de 26 (± 4.54) mil horas/ha/día a nivel potrero. En Belén, el valor promedio fue de 16 (± 3.49) mil horas/ha/día, con rangos de valores de sombra entre 7 y 24 mil horas/ha/día. Sin embargo, no hubo diferencias en los valores de proyección de sombra en los potreros ($p = 0.1829$).

5.3.2.2.2 Variaciones de sombreado

Los potreros de Matiguás tuvieron valores promedios de sombra de 13.75 (± 2.51) mil horas/ha/día con rangos de 4 y 23 mil horas/ha/día. En Belén, el valor promedio fue de 7.25 (\pm

1.89) mil horas/ha/día con rangos de 3 y 12 mil horas/ha/día, recibiendo estos potreros mayor radiación. Cuando se incluyeron los árboles y las cercas vivas en la misma simulación, la densidad arbórea aumentó, significativamente ($p = 0.015$). Los potreros de Matiguás, presentaron mayor densidad de árboles durante la simulación que los potreros de Belén (68.63 ± 9.34 , Anexo 8).

En Matiguás, el porcentaje de la cobertura arbórea de las cercas vivas fue de 20.64 (± 4.46) y en los potreros con árboles fue de 16.23 (± 1.52). En Belén, fue de 14.20 (± 0.39) en cercas vivas y de 14.79 (± 1.75) en potreros con árboles. Esquivel (2007) considera que las coberturas arbóreas entre 20 - 25% son adecuadas para mantener en los potreros de la zona, sin afectar la productividad de la pastura. A niveles de sombra entre 10 a 22% aumentaría la productividad en la finca (aumento en producción de leche) en comparación a potreros sin árboles o con baja densidad arbórea (Souza 2002, Betancourt *et al.* 2003). En este sentido es importante considerar el tipo de elemento silvopastoril y arreglo espacial a mantener en los potreros con el fin de evitar efectos negativos que incidan en las pasturas.

5.3.2.3 Patrones de sombra generados en Shademotion

En los modelos de proyección de sombra, el nivel de sombreado incrementó al aumentar la cantidad de árboles cuando el rango de opacidad varió entre 30 y 60 %. Cuando la simulación se realizó sólo con árboles, el nivel de sombreado fue de 37 mil horas/ha/día. Cuando se consideraron los árboles y las cercas vivas, el nivel de sombreado fue de 46 mil horas/ha/día y la densidad arbórea aumentó de 61 árboles ha^{-1} a 94 árboles ha^{-1} , representando el 43%, estando por encima de lo recomendado y analizado en estudios anteriores (Pénton *et al.* 1998, Díaz 2003, López *et al.* 2004, Esquivel 2007). Sin embargo, cuando solamente se evaluaron las cercas vivas, el nivel de sombreado fue de 9 mil horas/ha/día (con 100% de opacidad) y de 4 mil horas/ha/día cuando el grado de opacidad estuvo entre 30 y 60%. La densidad arbórea/100m fue de 9 árboles ha^{-1} . Esto indica que las horas de sombra que recibirá un potrero serán mayores cuando tenga cercas vivas y árboles en el potrero y probablemente este arreglo tendrá un efecto negativo sobre la productividad de la pastura, debido a la mayor cobertura arbórea, siendo importante considerar los elementos SSP a establecer en un diseño silvopastoril. Los patrones de sombra se ejemplifican en los mapas de sombra (Fig. 13 y 14).

Sobre el nivel de sombreado, Belsky (1992) encontró que en condiciones de cobertura moderada, se obtuvieron mayores concentraciones de nitrógeno en la vegetación herbácea bajo los árboles, en relación con el pastizal abierto. Pénton *et al.* (1998) consideran que los SSP con niveles de cobertura arbórea entre 36 hasta 40%, constituyen una opción de desarrollo sostenible debido a que favorece el incremento de nutrientes bajo los árboles al estimular la absorción de nitrógeno y acelerar las tasas de mineralización.

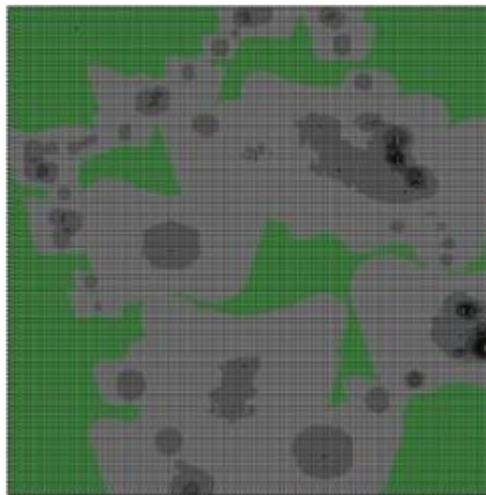
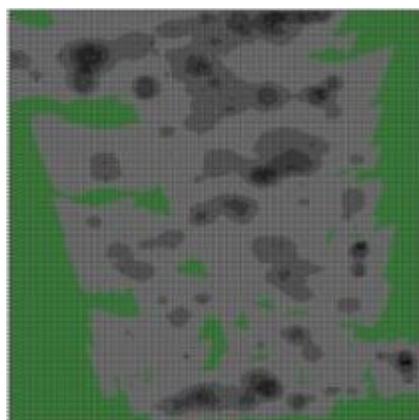
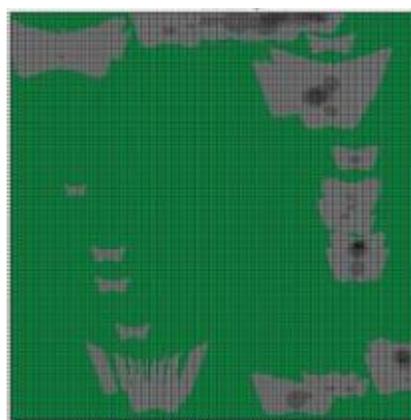


Figura 13. Simulación de sombra en potreros con árboles dispersos y cercas vivas (opacidad del 100%). Belén (Rivas)



a) árboles y cercas vivas



b) cercas vivas

Figura 14. Simulación de sombra con árboles dispersos y cercas vivas. a) densidad arbórea de 94 árboles ha^{-1} y b) simulación con cercas vivas (opacidad de 30, 50 y 60%). en potreros de Matiguás

5.4 Conclusiones y Recomendaciones

- Con el programa Shademotion se puede obtener el nivel de sombreado que percibe un potrero y evaluar el tipo de especie a manejar dependiendo del interés del productor.
- El nivel de sombra proyectada por los árboles en los potreros dependió no solo de la densidad total de árboles, sino de las características de la especie, del área de copa (m^2), de la distribución espacial de los árboles y del tipo de elemento silvopastoril establecido. Cuando existen cercas vivas y árboles dentro de un mismo potrero; la proyección de sombra será mayor que en potreros que solamente tengan árboles dispersos.
- Desde una perspectiva ecológica, la presencia de cercas vivas aumentó considerablemente la cobertura arbórea, cubriendo desde el 3.2 hasta el 12% del total del área de la pastura en los paisajes estudiados. Sin embargo, desde una perspectiva productiva, aumenta el nivel de sombreado; factor que puede incidir negativamente en la productividad de las pasturas.

5.4.1 Recomendaciones

- Mantener en los potreros densidades arbóreas moderadas para evitar efectos mayores de sombreado sobre las pasturas y reducción en la productividad.
- En potreros que mantengan cercas vivas, considerar el sombreado de las cercas para determinar la cobertura de árboles dispersos generado por los árboles más las cercas vivas.
- En próximos estudios considerar mediciones de la radiación fotosintética activa (RAFA) para evaluar la radiación percibida en los pastizales.
- Ampliar la clasificación de las especies con respecto al tipo de copa mediante la medición de la sombra proyectada por las especies presentes en los potreros, al menos realizar 3 mediciones por cada especie mediante un densiometro o la fotografía aérea.

5.5 Bibliografía

- Acciaresi H, Ansín O y Marlats R 1994 Sistemas silvopastoriles: Efectos de la densidad arbórea en la penetración solar y producción de forraje en rodales de álamo (*Populus deltoides* Marsh). *Agroforestería en las Américas* 1 (4): 6-9 p.
- Belsky, A. 1992. Effects of trees on nutritional quality of understory gramineous forage in tropical savannas. *Tropical Grasslands (A.C.T.)* 26 (1):12-20.
- Belsky, A. 1993 Mwonga, Mwonga, S., Amundson, R. Duxbury and Ali, A. 1993. Comparative effects of isolated trees on their undercanopy environments in high-and low-rainfall savannas. *Journal of Applied Ecology*: 143-145.
- Betancourt, K; Ibrahim, M; Harvey, C; Vargas, B. 2003. 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): 47 -51.
- Bolivar, DM. 1998. Contribución de *Acacia mangium* al mejoramiento de la calidad forrajera de *Brachiaria humidicola* y la fertilidad de un suelo ácido del trópico húmedo. Tesis Mag. Sc., CATIE, Turrialba, CR. 97 p.
- Bustamante, J. 1991. Evaluación del comportamiento de ocho gramíneas forrajeras asociadas con porò (*Erythrina poeppigiana*) y solas. Tesis Mag. Sc. CATIE, Turrialba, C.R.131p
- Carvalho, M. 1997. Asociaciones de pasturas con árboles en la región centro sur del Brasil (en línea). Brasil. Archivos de documentos de la FAO. Consultado 25 sept. 2009. Disponible en:
<http://www.virtualcentre.org/silvopastoral/documentos/X6313S00.htm>
- CATIE (Centro Agronómico Tropical de Investigación y Enseñanza)/ NORAD (Agencia Noruega para la Cooperación y el Desarrollo). 2002. Proyecto “Desarrollo participativo de alternativas de uso sostenible de la tierra para las pasturas degradadas en Centroamérica”. Turrialba, Costa Rica. 28 p.
- Combe, J. y Budowski, G. 1979. Clasificación de las técnicas agroforestales. *In* Taller de Sistemas Agroforestales en América Latina. CATIE, Turrialba, C.R. pp. 17-48.
- Di Rienzo J.A., Casanoves F., Balzarini M.G., Gonzalez L., Tablada M., Robledo C.W. 2008. InfoStat, versión 2009, Grupo InfoStat, FCA, Universidad Nacional de Córdoba, Argentina.

- Díaz, R. 2003. Efecto de diferentes niveles de cobertura arbórea sobre la producción acumulada, digestibilidad y composición botánica del pastizal natural del Chaco Árido (Argentina). *Agriscientia*. XX: 61-68.
- Esquivel, H. 2007. Tree resources in traditional silvopastoral systems and their impact on productivity and nutritive value of pastures in the dry tropics of Costa Rica. Thesis (Ph. D.). Turrialba, Costa Rica. 161 p.
- Gamboa Morillo H.A. 2009. Efecto de la sombra de genízaro (*Albizia saman* Jacq.) y coyote (*Platymiscium parviflorum* Benth.) sobre la productividad primaria neta aérea y la composición química de pastizales seminaturales en fincas ganaderas de Muy Muy, Nicaragua. *Agroforestería Tropical*. Tesis Mag. Sc. CATIE, Turrialba, CR. 101 p.
- Giraldo, L.A.; Botero, J.; Saldarriaga, J.; David, P. 1995. Efecto de tres densidades de árboles en el potencial forrajero de un sistema silvopastoril natural, en la región Atlántica de Colombia. *Agroforestería en las América*. 8: 14-19.
- Holdridge, LR. 1978. *Ecología basada en zonas de vida*. San José, CR, IICA. 216 p. (Serie Libros y Materiales Educativos IICA no. 34).
- INETER (Instituto nicaragüense de estudios territoriales). 2000. Zonificación de la III y IV región. Informe de Campo. INETER, Managua, Nicaragua, En prensa. 18 p. Disponible en Internet en [http://www.inifom.gob.ni/docs/caracterizaciones/Matiguás .pdf](http://www.inifom.gob.ni/docs/caracterizaciones/Matiguás.pdf)
- INIFOM (Instituto Nicaragüense de Fomento Municipal). 2005. Ficha municipal de Matiguás.
- Kaimowitz D. Livestock and deforestation. Central America in the 1980s and 1990s: A Policy Perspective. CIFOR, Jakarta, Indonesia 1996; 88 p.
- López, M.; Gómez, R.; Harvey, C.; Villanueva, C. 2003. Caracterización del componente arbóreo en los sistemas ganaderos de Rivas, Nicaragua. *Encuentro*, 36(68):114-133.
- MAGFOR (Ministerio de Agricultura, Ganadería y Forestal) 2001. Información cartográfica. MAGFOR.NI.
- Muñoz, D.; Harvey, C.A.; Sinclair, F.; Mora, J.; Ibrahim, M. 2003. Conocimiento local de la cobertura arbórea en sistemas de producción ganadera en dos localidades de Costa Rica. *Agroforestería en las Américas* 10 (39 - 40): 61-67.
- Nair, P. K. Ramachandran. 1997. *Agroforestería*. Universidad Autónoma de Chapingo, Chapingo, Méx. 543 p.

- Pentòn, G. y Blanco, F. 1996. Efecto de la sombra de los árboles sobre el pastizal en un sistema seminatural. FAO. Consultado agost. 2009. Disponible en <http://www.fao.org/>
- Pénton, G; Milera, M; Lajonchere, G; Geraldine, F; Sánchez, T y Morales Y. 1998. Evaluación de la diversidad de árboles en áreas dedicadas a la ganadería. Memorias III Taller Internacional Silvopastoril. Los árboles y arbustos en la ganadería. Matanzas, Cuba. pp 8-10
- Quesada, F., Somarriba, E., Malek, M. 2007. Introducción a Shademotion versión 2.1.
- Russo, R y Botero, R. 2005. El componente arbóreo como recurso forrajero en los sistemas silvopastoriles. Escuela de Agricultura de la Región Tropical Húmeda, EARTH, San José, Costa Rica.
- Solórzano, N.; Arends, E. y Escalante, E. 1998. Efectos del saman (*Samanea saman* (Jacq.) sobre la fertilidad del suelo en un pastizal de estrella (*Cynodon nlemfuensis* Vanderyst) en Portuguesa. Facultad de Ciencias Forestales y Ambientales, Instituto de Investigaciones para el Desarrollo Forestal (INDEFOR), Mérida-Venezuela.
- Souza de Abreu, MH. 2002. Contribution of Trees to the Control of Heat Stress in Dairy Cows and the Financial Viability of Livestock Farms in the Humid Tropics. Ph.D. Thesis. Turrialba, Costa Rica, CATIE. 166 p.
- Szott L, Ibrahim M, Beer J. 2000. The hamburger connection hangover: cattle pasture, land degradation and alternative land use in Central America. CATIE Serie Técnica.
- Velasco, J.A. 1998. Productividad forrajera, aporte de fósforo foliar y dinámica de los hongos endomicorrízicos y lombrices, en una pradera de *Brachiaria humidicola* sola y en asocio con *Acacia mangium*. Tesis Mag. Sc. CATIE, Turrialba, CR. 88 p.

ANEXOS

Anexo 1. Caracterización de la vegetación arbórea por potrero en la zona de Belén, Rivas (Nicaragua)

Sitio	Comunidad	Propietario	No potrero	Área potrero (ha)	Densidad arbórea/ha	No. Árboles	Dap prom	Altura prom árbol	Altura prom copa	Diam prom copa	Area de copa (m)	% copa/potrero	% copa (ha)	Tipo de pastura	Pend (%)	I. Shanon	I. Simpson	Riqueza sp
Belén	Mata de caña	Marcelino Ugarte	1	2.50	24.80	62	29.37	8.74	4.69	5.78	2147.66	8.59	21.477	pastura natural	15	2.02	0.16	12
Belén	Mata de caña	Wilfredo Aguilar	2	7.85	11.72	92	27.70	10.53	5.77	7.12	4351.23	5.54	43.512	jaragua	25	2.41	0.14	20
Belén	Mata de caña	Marcelino Ugarte	3	2.55	20.79	53	35.68	14.27	6.90	8.44	4267.96	16.74	42.680	jaragua	25	2.55	0.08	16
Belén	San Marcos	Martin Mena	4	1.76	17.05	30	30.76	12.69	6.22	10.76	3450.79	19.61	42.680	jaragua+PN	20	2.29	0.11	14
Belén	San Marcos	Martin Mena	5	1.48	18.24	27	35.35	12.40	6.29	9.34	2413.24	16.31	24.132	jaragua+PN	20	2.10	0.13	11
Belén	San Marcos	Martin Mena	6	3.69	5.69	21	48.09	14.33	7.65	14.54	4868.08	13.19	48.681	jaragua+PN	10	1.75	0.23	9
Belén	San Marcos	Martin Mena	7	2.02	12.87	26	50.31	15.07	6.79	11.96	4066.64	20.13	40.666	jaragua	5	2.08	0.14	11
Belén	San Marcos	Imelda López Cruz	8	1.11	7.19	8	41.13	12.43	4.58	13.15	1314.84	11.82	13.148	pastura natural	5	1.39	0.21	5
Belén	San Marcos	Marcial Corrales	9	2.52	10.33	26	53.89	11.38	4.52	12.94	3829.30	15.22	38.293	pastura natural	5	1.15	0.44	6
Belén	San Marcos	Marcial Corrales	10	1.95	12.29	24	35.42	8.26	3.17	10.88	2328.2352	11.92	23.282	pastura natural	2	0.34	0.84	3
Belén	Mata de caña	José Alejandro Ugarte	11	3.29	22.81	75	31.83	12.52	5.85	5.71	2344.32	7.13	23.443	jaragua	20	2.05	0.16	13
Belén	Mata de caña	José Ángel Baldelomar	12	1.01	27.72	28	31.83	12.52	6.25	7.93	1880.36	18.62	18.804	pastura natural	20	1.99	0.17	11
Belén	Mata de caña	Juan Merlo	13	2.82	11.34	32	36.08	13.00	6.61	7.77	2809.46	9.96	28.095	jaragua+PN	5	2.16	0.11	12
Belén	Las Mesas	Pedro Baldelomar	14	5.76	4.69	27	25.15	11.12	5.85	9.48	2432.21	4.22	24.322	jaragua	5	2.62	0.05	16
Belén	Las Mesas	Pedro Baldelomar	15	1.76	4.54	8	25.13	10.56	5.36	11.93	1486.51	8.43	14.865	jaragua+PN	10	1.49	0.14	5
Belén	Las Mesas	Aurelio Morales	16	1.35	4.44	6	49.00	13.70	6.68	15.04	1169.27	8.66	11.693	jaragua+PN	10	0.45	0.67	2
Belén	Las Mesas	Francisco Aguilar	17	5.19	13.49	70	35.61	12.38	5.68	7.69	6439.96	12.41	64.400	jaragua	10	2.43	0.12	20

Anexo 2. Caracterización de la vegetación arbórea por potrero en el municipio de Matiguás, Matagalpa (Nicaragua)

Propietario	No potrero	Área potrero (ha)	Densidad arbórea/ha	No. Arb	Dap prom	Altura prom árbol	Altura prom copa	Diam prom copa	Area de copa (m)	Porcentaje de copa/aparto	Porcentaje de copa(ha)	Tipo de pastura	Pendiente (%)	I. Shanon	I. Simpson	Riqueza sp
Isidro León	1	1.69	42.01	71	28.82	9.50	4.51	8.97	4764.30	29.05	47.64	Pastura mejorada	35	1.78	0.25	13
Isidro León	2	0.95	9.47	9	25.62	7.33	4.00	9.49	651.24	6.86	6.51	Pastura mejorada	35	1.21	0.25	4
Trinidad Lanzas	3	5.10	53.33	272	39.42	11.83	5.25	11.94	27316.94	50.40	273.17	Pastura mejorada	25	2.15	0.17	22
Trinidad Lanzas	4	3.36	29.76	100	29.75	6.62	3.37	812.00	5607.89	16.99	56.08	Pastura mejorada	25	2.18	0.16	18
Trinidad Lanzas	5	1.77	22.03	39	31.06	8.81	3.90	8.49	2300.00	13.53	23.00	Pastura mejorada	20	1.80	0.18	9
Cristino Martínez	6	3.75	25.60	96	27.77	8.32	4.10	8.25	5425.13	13.98	54.25	Pastura mejorada	5	1.73	0.22	12
Cristino Martínez	7	1.19	8.40	10	24.49	7.22	3.30	9.50	800.00	6.96	8.00	Pastura mejorada	10	1.17	0.26	4
Juan Gutiérrez Artola	8	1.2	37.50	45	35.06	12.93	5.97	10.24	4253.14	44.30	42.53	Pastura mejorada	30	2.06	0.18	14
Juan Gutiérrez Artola	9	1.82	21.98	40	29.11	11.33	5.56	8.43	2540.00	14.19	25.40	Pastura mejorada	40	1.51	0.31	10
Juan Gutiérrez Artola	10	1.31	52.67	69	28.90	12.46	6.58	7.72	3769.26	20.94	37.69	Pastura mejorada	30	1.58	0.31	11
Juan Gutiérrez Artola	11	1.68	20.24	34	37.32	12.87	5.55	9.38	2610.00	15.54	26.10	Pastura mejorada	20	1.95	0.15	10
Juan Gutiérrez Artola	12	2.94	28.57	84	35.79	15.56	6.28	10.00	7773.67	23.99	77.74	Pastura mejorada	20	1.84	0.22	13
Juan Gutiérrez Artola	13	2.22	20.27	45	42.22	15.57	6.58	11.00	4790.00	18.86	47.90	Pastura mejorada	20	1.96	0.18	12
Bismark Barquero	14	2.16	11.57	25	29.84	12.16	5.22	10.43	2256.91	10.50	22.57	Pastura mejorada	25	2.25	0.08	11
Bismark Barquero	15	1.57	5.73	9	36.43	8.94	3.67	10.54	860.00	6.14	8.60	Pastura mejorada	30	1.89	0.06	7
Bismark Barquero	16	2.43	4.94	12	25.51	12.39	5.88	7.35	521.79	2.18	5.22	Pastura mejorada	30	1.08	0.36	4
Ernesto Pulido	17	5.49	10.93	60	31.80	13.76	6.53	10.22	4923.68	8.92	49.24	Pastura mejorada	20	2.19	0.14	12
Ernesto Pulido	18	2.15	11.16	24	52.94	12.65	5.23	13.39	3760.00	16.49	37.60	Pastura mejorada	25	2.29	0.08	12
Ernesto Pulido	19	2.51	9.96	25	36.35	11.00	4.92	12.42	3345.61	13.60	33.46	Pastura mejorada	20	2.53	0.07	4
Ernesto Pulido	20	3.08	6.17	19	39.17	12.50	6.30	8.29	1700.00	2.65	17.00	Pastura mejorada	15	1.51	0.20	6
Evelio Castro	21	1.57	26.75	42	34.94	12.40	5.21	9.28	2932.60	12.53	29.33	Pastura mejorada	10	1.87	0.18	11
Evelio Castro	22	1.14	35.96	41	28.68	10.51	5.10	8.39	5640.00	49.47	56.40	Pastura mejorada	10	2.42	0.08	14
William Montiel	23	1.45	61.38	89	31.67	10.39	5.37	8.57	5355.09	36.93	53.55	Pastura mejorada	15	2.25	0.16	18

Anexo 3. Continuación

Propietario	No apartado	Área potrero (ha)	Densidad arbórea/ha	No. Arb	Dap prom	Altura prom árbol	Altura prom copa	Diam prom copa	Área de copa (m)	Porcentaje de copa/aparto	Porcentaje de copa(ha)	Tipo de pastura	Pendiente (%)	I. Shanon	I. Simpson	Riqueza sp
William Montiel	24	1.62	46.30	75	33.43	10.69	5.72	8.00	4260.00	26.13	42.60	Pastura mejorada	20	1.76	0.22	10
Javier Robles	25	2.64	26.89	71	38.33	12.49	6.44	8.59	4956.62	18.36	49.57	Pastura mejorada	30	1.99	0.18	12
William Roble	26	1.56	13.46	21	40.64	11.50	5.84	9.15	1716.62	10.04	17.17	Pastura mejorada	20	2.11	0.10	10
Juan José Jarquín Jarquín	27	1.6	20.00	32	32.05	10.78	5.52	8.87	2190.98	13.69	21.91	Pastura mejorada	15	1.89	0.15	10
Juan José Jarquín Jarquín	28	2.17	11.98	26	33.97	10.16	5.17	9.31	1860.00	9.03	18.60	Pastura mejorada	15	1.81	0.17	8
Javier Castro	29	3.18	11.95	38	36.43	12.91	7.18	8.27	2667.84	9.07	26.68	Pastura mejorada	30	2.33	0.11	15
Javier Castro	30	2.21	15.38	34	41.70	11.51	4.76	7.22	1960.00	8.99	19.60	Pastura mejorada	20	1.72	0.29	12
Juan José Jarquín Roble	31	2.07	23.67	49	32.87	9.44	4.67	8.01	3104.86	15.00	31.05	Pastura mejorada	30	2.74	0.07	22
Juan José Jarquín Roble	32	1.77	20.34	36	42.63	10.70	5.22	8.24	2770.00	11.64	27.70	Pastura mejorada	30	2.51	0.08	15
Guillermo García	33	1.61	28.57	46	48.43	20.23	11.47	12.28	3387.71	21.04	33.88	Pastura mejorada	25	2.21	0.11	12
Saúl Castro	34	2.15	12.09	26	44.96	17.94	8.52	9.98	2691.30	12.52	26.91	Pastura mejorada	15	2.20	0.10	11
Yamileth Castro	35	1.83	3.28	6	32.97	9.67	5.17	11.77	670.13	2.20	6.70	Pastura mejorada	20	1.33	0.13	4
Miguel Dumas	36	1.15	23.48	27	32.81	12.33	6.50	9.07	2043.91	17.77	20.44	Pastura natural	15	1.98	0.15	11
Miguel Dumas	37	3.39	14.75	50	33.71	14.93	7.30	8.60	5350.00	16.26	53.50	Pastura natural	10	2.50	0.09	18
Juan Gutiérrez Artola	38	2.16	31.48	68	37.96	14.08	8.18	7.37	3715.53	18.39	37.16	Pastura natural	30	2.08	0.18	15
Juan Gutiérrez Artola	39	1.92	16.67	32	35.97	10.85	5.73	8.81	2530.00	10.95	25.30	Pastura natural	30	2.35	0.09	14
Jaime Urbina	40	3.6	18.33	66	25.96	9.20	5.38	8.72	4216.04	11.71	42.16	Pastura natural	15	1.47	0.25	8
Amparo Gutiérrez	41	5.1	20.78	106	33.47	11.75	6.70	8.36	6169.68	12.10	61.70	Pastura natural	15	1.54	0.32	11
Donaldo Barquero	42	3.57	12.89	46	33.67	16.15	7.85	10.32	4376.41	13.76	43.76	Pastura natural	15	2.01	0.15	10
Donaldo Barquero	43	3.93	7.89	31	39.88	14.29	7.55	11.04	3430.00	8.23	34.30	Pastura natural	15	1.41	0.30	7
Juan José Jarquín Roble	44	3.04	17.11	52	28.67	7.82	3.65	8.79	3503.02	11.52	35.03	Pastura natural	20	1.90	0.18	11

Anexo 4. Tipos y opacidad de copas de algunas especies de árboles en potreros

Copa liviana - 40% opacidad (60% de luz)



Casia amarilla (*Senna siamea*)



Eucalipto sp

Copas densa - 60% opacidad (40% de luz)



Guanacaste blanco (*A. niopoides*)
Copa semielipsoidal



Guanacaste (*E. cyclocarpum*)
Copa elipsoidal

Anexo 5. Especies arbóreas encontradas en potreros de Matiguás y Belén, Rivas, Nicaragua

Familia	Nombre científico	Árboles		Cercas vivas	
		Matiguás	Belén	Matiguás	Belén
		Frecuencia		Frecuencia	
STERCULIACEAE	<i>Guazuma ulmifolia</i>	351	90	25	12
FABACEAE	<i>Enterolobium cyclocarpum</i>	324	23	6	1
FABACEAE	<i>Albizia saman</i>	267	3	4	-
FABACEAE	<i>Platymiscium parviflorum</i>	245	-	7	-
BORAGINACEAE	<i>Cordia alliodora</i>	216	50	16	17
BIGNONIACEAE	<i>Tabebuia rosea</i>	181	25	36	4
FABACEAE	<i>Cassia grandis</i>	70	2	-	-
FABACEAE	<i>Lysiloma auritum</i>	57	13	-	-
FABACEAE	<i>Gliricidia sepium</i>	52	9	37	26
BOMBACACEAE	<i>Pachira quinata</i>	43	6	113	-
BURSERACEAE	<i>Bursera simaruba</i>	36	9	350	1
ANACARDIACEAE	<i>Spondias mombin</i>	30	9	12	3
BIGNONIACEAE	<i>Tabebuia ochracea</i>	25	2	-	2
BORAGINACEAE	<i>Cordia collococca</i>	25	9	-	-
MELIACEAE	<i>Cedrela odorata</i>	22	9	-	-
FABACEAE	<i>Albizia niopoides</i>	17	2	-	-
CECROPIACEAE	<i>Cecropia obtusifolia</i>	16	3	-	-
FABACEAE	<i>Inga vera</i>	16	1	4	-
MORACEAE	<i>Maclura tinctoria</i>	15	9	-	-
FABACEAE	<i>Lonchocarpus phlebophyllus..</i>	14	-	-	-
MELIACEAE	<i>Trichilia americana</i>	14	-	-	-
FABACEAE	<i>Hymenaea courbaril</i>	13	-	-	-
RUBIACEAE	<i>Genipa americana</i>	10	2	-	1
ANNONACEAE	<i>Annona purpurea</i>	9	-	-	1
BOMBACACEAE	<i>Ceiba pentandra</i>	9	1	-	-
COCHLOSPERMACEAE	<i>Cochlospermum vitifolium</i>	9	3	-	-
FABACEAE	<i>Senna hayesiana</i>	9	-	-	-
MYRTACEAE	<i>Psidium guajava</i>	9	1	-	-
RUBIACEAE	<i>Calycophyllum candidissimu..</i>	9	9	-	2
ANACARDIACEAE	<i>Astronium graveolens</i>	6	-	-	-
FABACEAE	<i>Albizia adinocephala</i>	6	-	-	-
MORACEAE	<i>Ficus sp</i>	6	-	1	-
ANACARDIACEAE	<i>Spondias purpurea</i>	5	24	9	18
LAURACEAE	<i>Nectandra lineata</i>	5	-	-	-
BORAGINACEAE	<i>Cordia panamensis</i>	4	-	-	-
FABACEAE	<i>Erythrina berteroana</i>	4	-	9	-
FABACEAE	<i>Lonchocarpus sp</i>	4	2	3	-

ARALIACEAE	<i>Sciadodendron excelsum</i>	3	-	-	-
EUPHORBIACEAE	<i>Croton draco</i>	3	-	-	-
EUPHORBIACEAE	<i>Sapium macrocarpum</i>	3	-	-	-
FABACEAE	<i>Senna sp</i>	3	-	-	-
RHAMNACEAE	<i>Colubrina sp</i>	3	-	-	-
SAPINDACEAE	<i>Sapindus saponaria</i>	3	-	1	-
FABACEAE	<i>Senna siamea</i>	2	-	4	-
RUTACEAE	<i>Zanthoxylum elephantiasis</i>	2	-	-	-
SAPINDACEAE	<i>Thouinidium decandrum</i>	2	3		1
TILIACEAE	<i>Luehea candida</i>	2	-	-	-
VERBENACEAE	<i>Cordia collococca</i>	2	-	-	-
ANNONACEAE	<i>Annona reticulata</i>	2	-	-	-
BIGNONIACEAE	<i>Tabebuia sp</i>	1	-	-	-
EUPHORBIACEAE	<i>Garcia nutans</i>	1	-	-	-
FABACEAE	<i>Erythrina sp</i>	1	-	-	-
DILLENACEAE	<i>Curatella americana</i>	-	-	2	-
MORACEAE	<i>Brosimum alicastrum</i>	1	-	-	-
MORACEAE	<i>Ficus insipida</i>	1	-	-	-
MYRTACEAE	<i>Eucalipto sp</i>	1	-	-	-
OLACACEAE	<i>Schoepfia schreberi</i>	1	2	-	-
RUBIACEAE	<i>Exostema mexicanum</i>	1	-	-	-
SAPOTACEAE	<i>Manilkara sp</i>	1	-	-	-
SAPOTACEAE	<i>Sideroxylon capiri</i>	1	-	-	-
TILIACEAE	<i>Luehea seemannii</i>	1	-	-	-
ULMACEAE	<i>Trema micrantha</i>	1	-	-	-
VERBENACEAE	<i>Cornutia pyramidata</i>	1	-	-	-
MALPIGHIACEAE	<i>Byrsonima crassifolia</i>	-	67	-	20
BIGNONIACEAE	<i>Crescentia alata</i>	-	64	-	-
FABACEAE	<i>Diphysa americana</i>	-	30	-	-
MELIACEAE	<i>Swietenia humilis</i>	-	30	-	2
VERBENACEAE	<i>Vitex gaumeri</i>	-	-	2	-
SIMAROUBACEAE	<i>Simarouba amara</i>	-	23	-	6
ARECACEAE	<i>Acrocomia mexicana</i>	-	14	-	
RHAMNACEAE	<i>Karwinskia calderonii</i>	-	13	-	3
FABACEAE	<i>Dalbergia retusa</i>	-	12	-	3
FABACEAE	<i>Myrospermum frutescens</i>	-	12	1	17
ANACARDIACEAE	<i>Mangifera indica</i>	-	10	-	-
FABACEAE	<i>Leucaena shannonii</i>	1	9	1	-
TILIACEAE	<i>Luehea candida</i>	-	6	-	-
BORAGINACEAE	<i>Cordia dentata</i>	-	5	1	57
MYRTACEAE	<i>Eugenia hiraefolia</i>	-	3	-	-

FABACEAE	<i>Lonchocarpus sp</i>	-	2	3	-
FABACEAE	<i>Acacia collinsii</i>	-	1	-	-
MORACEAE	<i>Brosimum sp</i>	-	1	-	-
BOMBACACEAE	<i>Ceiba pentandra</i>	-	1	-	-
LECYTHIDACEAE	<i>Couroupita nicaraguarensis..</i>	-	1	-	-
EBENACEAE	<i>Diospyros salicifolia</i>	-	1	-	-
FABACEAE	<i>Lonchocarpus macrocarpus</i>	-	1	-	-
FABACEAE	<i>Lonchocarpus minimiflorus</i>	-	1	-	-
SAPINDACEAE	<i>Melicoccus bijugatus</i>	-	-	2	3
Muntingiaceae	<i>Muntingia calabura</i>	-	-	1	-
FABACEAE	<i>Pithecellobium sp,</i>	-	-	1	-
FABACEAE	<i>Delonix regia</i>	-	-	1	1
RUBIACEAE	<i>Morinda citrifolia</i>	-	-	1	-
FLACOURTIACEAE	<i>Zuelania guidonia</i>	-	-	1	-
FLACOURTIACEAE	<i>Casearia corymbosa</i>	-	-	-	5
RUTACEAE	<i>Citrus sp</i>	-	-	-	4
FABACEAE	<i>Apoplanesia paniculata</i>	-	-	-	3
Olacaceae	<i>Schoepfia</i>	-	-	-	3
POLYGONACEAE	<i>Coccoloba sp</i>	-	-	-	2
BIGNONIACEAE	<i>Crescentia cujete</i>	-	-	-	2
RUBIACEAE	<i>Guettarda macrosperma</i>	-	-	-	2
DILLENACEAE	<i>Curatella americana</i>	-	-	-	1

Anexo 6. Especies arbóreas más abundantes en cercas vivas modeladas en potreros de Matiguás y Belén, Nicaragua

Especie	n	Abundancia		n	Abundancia	
		Matiguás	%		Belén	%
<i>Bursera simaruba</i> (jiñocuabo)	354	80.02 ± 3.22	53			
<i>Pachira quinata</i> (pochote)	113	47.92 ± 3.51	17			
<i>Gliricidia sepium</i> (madero negro)	36	38.72 ± 8.65	5	26	28.35 ± 3.06	12
<i>Tabebuia rosea</i> (roble)	36	40.06 ± 3.81	5			
<i>Guazuma ulmifolia</i> (guácimo)	25	43.44 ± 10.25	4	12	42.17 ± 7.03	5
<i>Cordia alliodora</i> (laurel)	15	44.13 ± 11.79	2	17	49.82 ± 4.84	8
<i>Ficus sp</i> (matapalo)	10	19.9 ± 3.96	2			
<i>Spondias mombin</i> (jobo)	10	79.8 ± 22.44	2			
<i>Erythrina berteroana</i> (helequeme)	9	34 ± 9.27	1			
<i>Spondias purpurea</i> (jocote)	9	37.78 ± 9.61	1	18	26.72 ± 6.19	8
<i>Cordia dentata</i> (tiguilote)				57	24.84 ± 2.05	26
<i>Byrsonima crassifolia</i> (nancite)				20	38.9 ± 5.57	9
<i>Myrospermum frutescens</i> (chiquirin)				17	35.76 ± 7.07	8
<i>Simarouba amara</i> (aceituno)				6	18.83 ± 8.84	3
<i>Casearia corymbosa</i> (cerillo)				5	19.4 ± 3.57	2
<i>Citrus sinensis</i> (naranja)				4	73.25 ± 20.09	2

Matiguás: árboles en cercas vivas n= 632 individuos, Belén: árboles en cercas vivas: n= 223 individuos

Anexo 7. Simulación de sombra de árboles en potreros con densidad de copa de 100% y variaciones de densidad (30, 50 y 60%) en Belén y Matiguás

Sitio	Potrero (#)	Área (ha)	Árboles (#)	Dens. arbórea	Área de copa (m)	Copa/potrero (%)	Parches (#)	Índice distancia	*dens/8 - 4pm	valor_ sombra	*dens/8 - 4pm2	valor_ sombra2	Sin sombra (%)
Matiguás	1	1.69	71	42	4764.3	29.05	18	0.71	100	26	305060	11	60
Matiguás	2	0.95	9	9	651.24	6.86	4	1.6	100	5	305060	2	86
Matiguás	3	5.1	272	53	27316.94	50.4	37	0.77	100	57	305060	26	27
Matiguás	4	3.36	100	30	5607.89	16.99	40	0.84	100	14	305060	7	72
Matiguás	5	1.77	39	22	2300	13.53	28	1.09	100	10	305060	5	72
Matiguás	6	3.75	95	26	5425.13	13.98	36	0.67	100	12	305060	4	74
Matiguás	7	1.19	10	8	800	6.96	7	1.79	100	5	305060	2	89
Matiguás	8	1.2	45	38	4253.14	44.3	18	1.01	100	28	305060	14	34
Matiguás	9	1.82	40	22	2540	14.19	27	0.91	100	10	305060	5	62
Matiguás	10	1.31	69	53	3769.26	20.94	23	1.02	100	19	305060	11	32
Matiguás	11	1.68	34	20	2610	15.54	22	1.1	100	12	305060	6	67
Matiguás	12	2.94	84	29	7773.67	23.99	34	1.09	100	21	305060	9	52
Matiguás	13	2.22	46	20	4790	18.86	23	1.04	100	17	305060	8	57
Matiguás	14	2.16	25	12	2256.91	10.5	18	0.87	100	1	305060	4	77
Matiguás	15	1.57	9	6	860	6.14	9	1.06	100	4	305060	2	82
Matiguás	16	2.43	12	5	521.79	2.18	8	1.05	100	2	305060	1	94
Matiguás	17	5.49	60	11	4923.68	8.92	28	0.85	100	4	305060	2	81
Matiguás	18	2.15	24	11	3760	16.49	12	0.95	100	15	305060	8	71
Matiguás	19	2.51	25	10	3345.61	13.6	19	0.96	100	9	305060	4	80

Anexo 8. Continuación

Sitio	Potrero (#)	Área (ha)	Árboles (#)	Dens. arbórea	Área de copa (m)	Copa/potrero (%)	Parches (#)	Índice distancia	*dens/8 - 4pm	valor_ sombra	*dens/8 - 4pm2	valor_ sombra2	Sin sombra (%)
Matiguás	20	3.08	19	6	1700	2.65	9	1.17	100	6	305060	3	90
Matiguás	21	1.57	42	27	2932.6	12.53	21	1.02	100	18	305060	8	61
Matiguás	22	1.14	41	36	5640	49.47	16	0.87	100	25	305060	12	51
Matiguás	23	1.45	89	61	5355.09	36.93	19	0.94	100	37	305060	19	29
Matiguás	24	1.62	75	46	4260	26.13	15	0.94	100	31	305060	14	43
Matiguás	25	2.64	71	27	4956.62	18.36	29	0.78	100	16	305060	8	63
Matiguás	26	1.56	21	13	1716.62	10.04	15	1.23	100	9	305060	4	78
Matiguás	27	1.6	31	20	2190.98	13.69	18	1.23	100	12	305060	6	63
Matiguás	28	2.17	26	12	1860	9.03	18	0.76	100	7	305060	4	84
Matiguás	29	3.18	38	12	2667.84	9.07	25	0.83	100	8	305060	4	78
Matiguás	30	2.21	34	15	1960	8.99	19	0.96	100	7	305060	4	84
Matiguás	31	2.07	49	24	3104.86	15	20	1.01	100	15	305060	8	70
Matiguás	32	1.77	36	20	2770	11.64	15	1.06	100	14	305060	7	73
Matiguás	33	1.61	46	29	3387.71	21.04	14	0.88	100	21	305060	10	61
Matiguás	34	2.15	26	12	2691.3	12.52	16	1.13	100	12	305060	6	77
Matiguás	35	1.83	6	3	670.13	2.2	6	1.95	100	3	305060	1	95
Matiguás	36	1.15	27	23	2043.91	17.77	10	0.93	100	19	305060	8	62
Matiguás	37	3.39	50	15	5350	16.26	24	0.95	100	13	305060	6	74
Matiguás	38	2.16	68	31	3715.53	18.39	25	0.84	100	20	305060	10	56
Matiguás	39	1.92	32	17	2530	10.95	17	0.76	100	11	305060	5	75
Matiguás	40	3.6	66	18	4216.04	11.71	29	0.76	100	11	305060	5	77
Matiguás	41	5.1	106	21	6169.68	12.1	45	0.79	100	14	305060	5	71
Matiguás	42	3.57	45	13	4376.41	13.76	22	0.94	100	13	305060	5	60
Matiguás	43	3.93	31	8	3430	8.23	16	1.01	100	9	305060	3	86
Matiguás	44	3.04	52	17	3503.02	11.52	30	0.97	100	10	305060	4	81
Matiguás	45	1.19	45	33.09	2287.65	19.06	16		100	15	305060	7	89

Anexo 9. Continuación

Sitio	Potrero (#)	Área (ha)	Árboles (#)	Dens. arbórea	Área de copa (m)	Copa/potrero (%)	Parches (#)	Índice distancia	*dens/8 - 4pm	valor_ sombra	*dens/8 - 4pm2	valor_ sombra2	Sin sombra (%)
Belén	1	2.5	62	24.8	4351.23	5.54	12	0.65	100	11	305060	5	91
Belén	2	7.84	92	11.72	4267.96	16.74	6	0.61	100	3	305060	1	73
Belén	3	3	53	20.79	2344.32	7.13	20	0.78	100	19	305060	8	73
Belén	4	1.76	30	17.05	3450.79	19.61	20	0.89	100	18	305060	9	75
Belén	5	1.48	27	18.24	1880.36	18.62	19	1.1	100	16	305060	7	81
Belén	6	3.69	21	5.69	4868.08	13.19	14	1.05	100	11	305060	4	69
Belén	7	2.02	26	12.87	1314.84	11.82	27	0.99	100	21	305060	7	84
Belén	8	1.11	8	7.19	1169.27	8.66	11	1.62	100	9	305060	5	82
Belén	9	2.62	26	9.92	2147.66	8.59	18	0.86	100	15	305060	7	85
Belén	10	1.95	24	12.29	4066.64	20.13	16	1.26	100	12	305060	7	73
Belén	11	3.29	74	22.5	2809.46	9.96	15	0.88	100	12	305060	6	69
Belén	12	1.01	28	27.72	2328.24	11.92	26	1.09	100	22	305060	11	85
Belén	13	2.82	32	11.34	2413.24	16.31	13	1.04	100	10	305060	4	94
Belén	14	5.76	26	4.51	2432.21	4.22	5	0.87	100	1	305060	1	95
Belén	15	1.76	8	4.54	3829.3	14.62	8	1.06	100	5	305060	2	90
Belén	16	1.35	6	4.44	1486.51	8.43	8	1.43	100	7	305060	3	85
Belén	17	5.19	70	13.49	6439.96	12.41	14	0.94	100	6	305060	3	94
Belén	18	2.52	54	6.05	1422.18	5.64			100	7	305060	3	83
Belén	19	0.9999	38	16.78	2142.31	21.64	9		100	16	305060	8	84

*dens/8_4pm_100: Simulación de sombra en especies con 100% de opacidad

*dens/8_4pm2_305060: Simulación de sombra en especies que permiten cierto % de luz, opacidad del 30, 50 y 60%

Anexo 10. Áreas de copa promedio en especies abundantes de cercas vivas en potreros modelados de Matiguás y Belén

Especie	Matiguás	Belén
<i>Guazuma ulmifolia</i> (guácimo)	74.94 ± 12.56	84.99 ± 17.47
<i>Gliricidia sepium</i> (madero negro)	40.72 ± 4.74	
<i>Erythrina berteroana</i> (helequeme)	34.02 ± 7.05	
<i>Spondias mombin</i> (jobo)	30.03 ± 6.88	109.96 ± 42.71
<i>Cordia alliodora</i> (laurel)	29.17 ± 5.82	
<i>Pachira quinata</i> (pochote)	28.35 ± 2.86	
<i>Tabebuia rosea</i> (roble)	27.22 ± 4.18	
<i>Spondias purpurea</i> (jocote)	20.22 ± 5.9	
<i>Ficus sp</i> (matapalo)	17.67 ± 6.06	
<i>Bursera simaruba</i> (jiñocuabo)	17.3 ± 1.12	
<i>Enterolobium cyclocarpum</i> (guanacaste)		127.68 ± 0
<i>Dalbergia retusa</i> (ñambar)		119.12 ± 29.67
<i>Coccoloba sp</i> (papaturre)		95.14 ± 4.23
<i>Delonix regia</i> (malinche)		90.76 ± 0
<i>Casearia corymbosa</i> (cerillo)		87.12 ± 23
<i>Byrsonima crassifolia</i> (nancite)		80.85 ± 6.42
<i>Melicoccus bijugatus</i> (mamòn)		72.15 ± 23.81
<i>Simarouba amara</i> (aceituno)		71.04 ± 13.49

Anexo 11. Simulación de sombra de potreros con cercas vivas y árboles en densidad de copa de 100% y variaciones de densidad (30, 50 y 60%) en Belén y Matiguás

Sitio	Potrero (#)	Área (ha)	Árboles (#)	Dens_ arbórea	Área de copa (m)	copa/ potrero (%)	dens/8_4pm	Valor sombra	dens/8_4pm2	Valor sombra
Belén	6	3.69	81	22	6287	17	100	17	305060	6
Belén	11	3.35	170	51	6745.61	20	100	24	305060	12
Belén	18	2.52	54	11	1422.18	6	100	7	305060	3
Belén	19	1	38	17	2142.31	21	100	16	305060	8
Matiguás	8	1.2	107	89	4892.47	41	100	41	305060	22
Matiguás	9	1.82	146	80	3127.83	17	100	19	305060	10
Matiguás	15	1.57	50	32	1326.65	8	100	9	305060	4
Matiguás	22	1.14	103	90	3106.55	27	100	32	305060	15
Matiguás	23	1.45	136	94	6269.2	43	100	46	305060	23
Matiguás	27	1.6	76	48	2996.68	19	100	20	305060	10
Matiguás	42	3.57	298	83	7769.06	22	100	26	305060	19
Matiguás	45	1.19	122	33	2287.65479	19	100	15	305060	7

Árboles (#): Número de árboles más cercas vivas

*dens/8_4pm_100: Simulación de sombra en especies con 100% de opacidad

*dens/8_4pm2_305060: Simulación de sombra en especies que permiten cierto % de luz, opacidad del 30, 50 y 60%

6 ARTICULO 3. EFECTO DE LOS ARREGLOS ESPACIALES EN SSP Y DEL APORTE DE LA COBERTURA ARBÓREA A LA CONECTIVIDAD ESTRUCTURAL EN PAISAJES AGROPECUARIOS DE MATIGUÁS Y BELÉN, NICARAGUA

6.1 Introducción

La ganadería es considerada como una de las principales causas de degradación y de la fragmentación de extensas áreas de ecosistemas naturales (Montagnini *et al.* 2003). Sin embargo, promover iniciativas de conservación de la biodiversidad en paisajes fragmentados puede favorecer la conectividad de los bosques remanentes al incluir la adopción de prácticas agropecuarias sostenibles (Harvey *et al.* 2008). Dentro de estas iniciativas están los sistemas silvopastoriles (SSP), como una alternativa de producción agropecuaria ambiental y socialmente sostenible (Ibrahim *et al.* 2001).

Muchos ganaderos han comenzado a utilizar SSP con el fin de incrementar la productividad en su finca y promover la conservación de los recursos naturales. En América Central, los árboles aislados dentro de los potreros son una característica común del paisaje agropecuario. Estudios recientes han demostrado que estos árboles cumplen un papel importante para la conservación de animales silvestres al proveer refugio, sitios de descanso y anidación, lo mismo que alimento. Además, los árboles en estos sistemas son usados principalmente como sombra para el ganado, como rompevientos y también para proveer madera para cercas y combustible (Naranjo 2006).

Los SSP asocian diversas formas de la producción animal con árboles y responden de manera general a los principios agroecológicos de buscar alternativas de uso de la tierra, que conlleven a obtener una productividad más alta por unidad de superficie, sin que se agote la capacidad de producción de los ecosistemas (Nair 1991). Los principales componentes de los SSP son los árboles, los pastos, los animales y el suelo (Nair 1997). Las interacciones entre estos componentes son de gran importancia práctica, pues condicionan el éxito de cualquier sistema agroforestal. La magnitud de las interacciones entre las leñosas y las pasturas dependerá de la disponibilidad de agua, de luz y de nutrientes del sistema (características del

sitio); los requerimientos específicos y las características morfológicas y funcionales de los componentes. Además de la densidad de plantas, su arreglo espacial y el manejo que se les da, tanto a los árboles y pastos como a los animales (Pezo e Ibrahim 1999).

El manejo de los árboles en los potreros es de suma importancia para garantizar una producción sostenible, que incremente la productividad de las pasturas y que permita la conservación y el mantenimiento de la conectividad a nivel de paisaje. Al respecto, Harvery *et al.* (2005, 2008) y Villanueva *et al.* (2007) han evidenciado la importancia del manejo de árboles en los potreros, pero todavía no se conocen cuáles son los arreglos espaciales, que deben tener los potreros para incrementar de una manera apropiada la conservación de la diversidad (uso de corredores biológicos) sin interferir en la productividad de las pasturas.

El objetivo de este estudio fue modelar el impacto de los arreglos espaciales de los árboles sobre la conectividad estructural a nivel de paisaje. Con este estudio se pretende mejorar el conocimiento para contribuir a un mejor manejo de la cobertura arbórea en potreros en los municipios de Matiguás y Belén. Se tomó en cuenta la densidad arbórea, el tipo de arreglo de los árboles y el índice de conectividad a nivel de potrero, para evaluar el nivel de sombreado que llega al pastizal y el grado de conectividad generado por los árboles. La importancia del estudio radica en que brinda las bases para que los productores puedan mejorar el manejo agroecológico de las pasturas y permite identificar los efectos del tipo de arreglo espacial y la densidad arbórea sobre sus potreros, con el fin de manejar porcentajes de cobertura que les permita maximizar la productividad en la finca, sin interferir en la conservación de la biodiversidad.

6.2 Materiales y métodos

6.2.1 Sitio de estudio

El estudio se realizó en Belén y Matiguás, Nicaragua (Fig. 15), como parte del proyecto SILPAS. Matiguás es un municipio ubicado en el departamento de Matagalpa y representa la zona ganadera de las tierras altas centrales de Nicaragua. Este municipio tiene una extensión territorial de 1,710 km², siendo uno de los municipios más grandes en extensión del departamento de Matagalpa. Se localiza a 85°27' de latitud Norte y 12°50' de longitud

Oeste, a una altura de 200 a 300 msnm, la topografía del terreno es ondulada con pendientes entre 30 a 50% y predominan los suelos arcillosos. (MAGFOR, 2001). La temperatura media anual es de 27°C (INIFOM 2005). Las temperaturas más altas se alcanzan en los meses de marzo y abril, registrando extremas de 41.0° C. La precipitación media anual es de 1800 a 2000 mm (INIFOM 2005). Sin embargo, existe una estación seca bien marcada. Dentro de la clasificación de Holdridge (1978) esta zona es considerada como Bosque sub-húmedo Tropical. Las comunidades estudiadas corresponden a la microcuenca del Río BulBul.

El municipio de Belén, se ubica en el departamento de Rivas. Se localiza a 11°30' de latitud Norte y 85°53' de longitud Oeste. La altitud oscila entre 100 y 200 msnm, la topografía es plana y los suelos son de tipo vertisol y molisol. La temperatura media varía entre los 23 °C y 33°C y la precipitación promedio anual es de 1400 mm (INETER, 2000). Según la clasificación de Holdridge (1978), la zona de vida pertenece al Bosque Seco Tropical. Este municipio representa los paisajes ganaderos de la costa pacífica del país, siendo un mosaico dominado por pasturas, con pequeños parches de cultivos agrícolas y bosque.

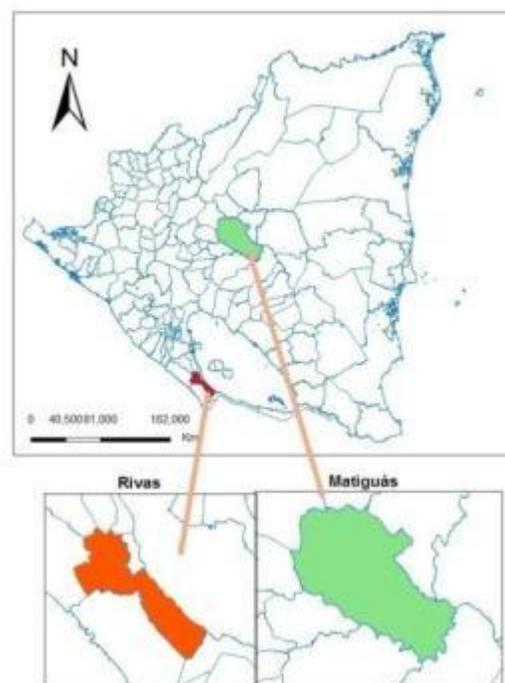


Figura 15. Ubicación de los sitios de estudio

6.2.2 Modelación de arreglos espaciales y densidades arbóreas

6.2.2.1 Arreglo espacial

Se realizó un análisis de la distribución espacial de los árboles inventariados en todos los potreros, utilizando la herramienta Average Nearest Neighbor Distance en Analyzing Patterns (Arcgis v 9.3, Anexo 1), con el fin de evaluar el nivel de sombreado y conectividad a partir del cambio de distribución espacial. Se obtuvieron 12 potreros en el análisis de distribución, en el que los árboles presentaron una distribución agrupada, sobre los cuales se realizó una redistribución espacial, obteniendo distribuciones aleatorias, regulares y

agrupadas, según el valor del índice de distancia promedio entre árboles (Cuadro 11; Anexo 2).

Cuadro 11. Tipos de arreglos generados a partir de la simulación de árboles agrupados

Sitio	potrero	Arreglo inicial	Tipo de arreglo/Índice de distancia	
			Aleatorio	Regular
Belén	1	Agrupado	1.07	1.25
	2		0.93	1.58
	3		0.96	1.61
	11		1.03	1.44
Matiguás	1	Agrupado	0.98	1.44
	6		0.99	1.41
	12		1.03	1.5
	17		0.9	1.22
	25		1	1.45
	28		1.02	1.65
	29		1.02	1.55
	38		0.92	1.41
	39		0.98	1.36
	40		0.94	1.34
41	1.04	1.57		

Este índice indica el grado de aglomeración de los árboles. Si el valor es menor que 1, el modelo indica que los árboles están agrupados. Si el índice es mayor que 1, la tendencia es hacia la dispersión (Fig. 16; Anexo 3). En los 12 potreros simulados se determinaron los patrones de sombra individualmente para cada especie (simulación de sombra de 1000 árboles de los potreros inventariados, utilizando el diámetro de copa, la altura de la copa y la altura del tronco de cada árbol), utilizando el programa Shademotion. El periodo de simulación fue establecido para un año entre las 8:00 a.m y 4:00 p.m.

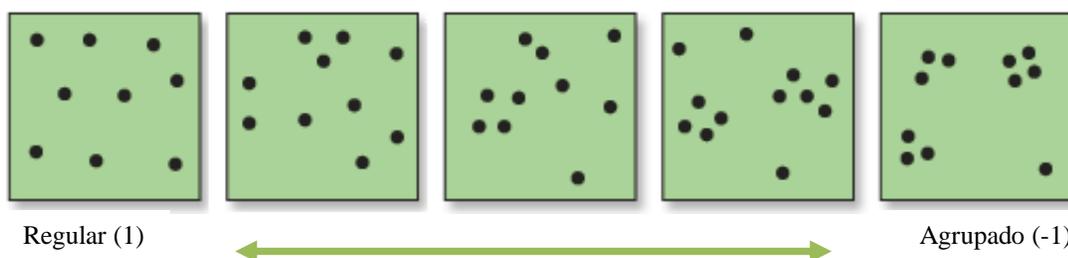


Figura 16. Representación del índice de relación de vecindad utilizado para la distribución espacial de los árboles en potreros (Manual Arcgis v. 9.3)

Se utilizó la herramienta *point random* en ArcView 3.3, basándose en los árboles agrupados para obtener los cambios de la distribución espacial de acuerdo al tipo de arreglo de los árboles en los potreros inventariados. Se consideró la distancia promedio entre los individuos más próximos, utilizando la media y la desviación estándar (DE) para obtener una distribución de forma regular y para la redistribución aleatoria se utilizó la media menos la desviación estándar (DE), corroborando la distribución simulada con la herramienta Average Nearest Neighbor Distance en Analyzing Patterns (Arcgis v 9.3). El índice fue calculado sobre los potreros reales para ver el tipo de distribución de los árboles y se realizó la simulación de la sombra para cada potrero (Cuadro 12). En el programa Arcgis fueron visualizados los patrones de sombra de cada potrero, utilizando el radio de sombra.

Cuadro 12. Variables utilizadas para la simulación de sombra en función del arreglo espacial

	Sitio	Potrero	Árboles (#)	*Media + DE (m)	Media – DE (m)
Árboles agrupados	Belén	1	62	12	1
		2	92	17	2
		3	53	13	3
		11	74	13	2
	Matiguás	1	71	9	1
		6	95	11	1
		12	84	13	5
		17	60	15	6
		25	71	12	3
		28	26	21	5
		29	38	25	5
		38	68	13	2
		39	32	15	5
		40	66	16	2
41	106	15	3		

* Media: Promedio de las distancias de los árboles

Media + DE (m): media más desviación estándar. Valor en metros que se obtiene con la herramienta estadística en Arcgis

Media – DE (m): media menos la desviación estándar

6.2.2.2 Densidad arbórea y arreglo

Para conocer la proyección de sombra generada por el tipo de arreglo y por la densidad arbórea se seleccionaron 8 potreros (4 para Belén y 4 para Matiguás) al azar de los 12 anteriormente analizados de acuerdo a la distribución espacial de los árboles. Posteriormente se determinaron las densidades arbóreas máxima y mínima encontradas por hectárea, y se

seleccionaron potreros con densidades de 10, 16 y 22 árboles ha^{-1} para un total de 36 potreros simulados en cada sitio (4 potreros x 3 densidades x 3 arreglos). En Arcgis, se generó un archivo shape, construyendo un buffer con el radio de la copa y el radio del área de proyección de la sombra para comparar entre los tipos de arreglos y las densidades de árboles en potreros.

6.2.3 OE3. Conectividad estructural

6.2.3.1 Método para caracterizar la estructura, composición y conectividad estructural en los potreros

Cada potrero fue considerado como un paisaje independiente, analizando los usos de suelo (pasto, árboles). En el programa Arcgis 9.3 se utilizó la herramienta *buffer* con el radio de la copa de cada uno de los árboles para especificar la distancia entre árboles y la superposición entre las copas. Con la herramienta *dissolve* (*Data Management Tools*) se obtuvieron los parches del área cubierta por los árboles en cada potrero (áreas abiertas y áreas de copa; clasificados: 1= copa, 0= área abierta, Fig.17).

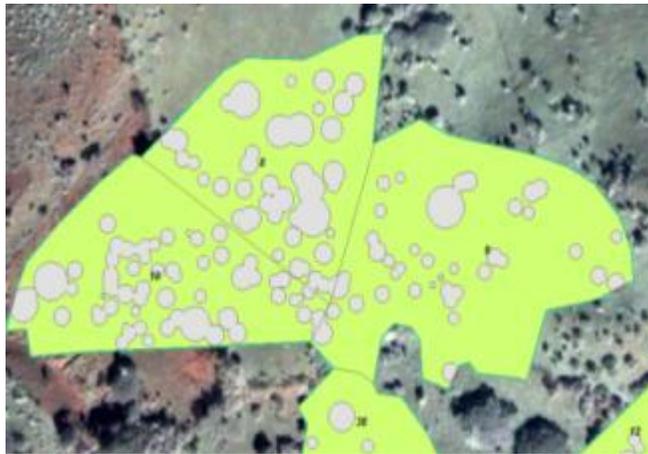


Figura 17. Área de copa y no copa en potreros Matiguás

6.2.3.2 Análisis de métricas

El archivo en formato shape con los parches del área de copa se convirtió en formato raster (Fig. 18), para luego hacer el análisis del paisaje con el programa Fragstats 3.3 (McGarigal *et al.* 2002) y evaluar los índices de métricas de paisaje.

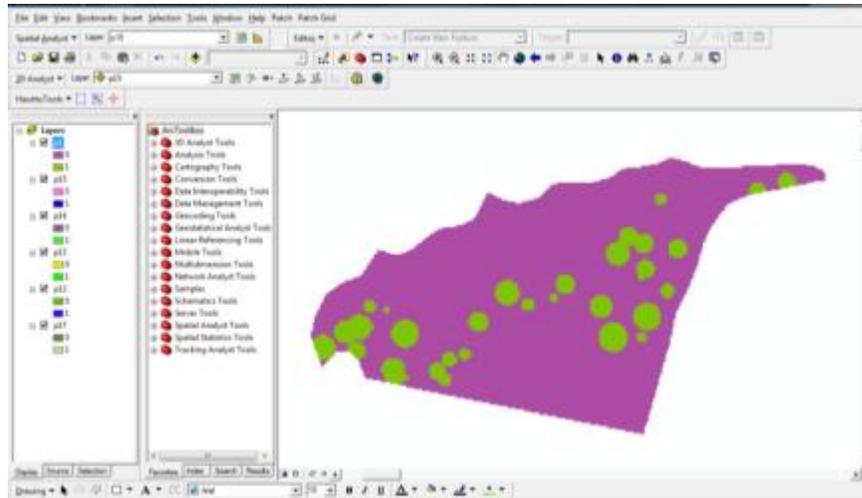


Figura 18. Potrero en formato raster para cálculo de métricas de paisaje (Belén, Rivas)

En cada potrero fueron consideradas las distancias entre las copas de los árboles. Se utilizaron métricas de clase; entre estas: **el área total del potrero, el porcentaje del paisaje** (con cobertura arbórea), **el índice de contagio**; el cual expresa la forma de agregación de los elementos que conforman el paisaje, indicando la probabilidad de que el siguiente pixel (sacado de manera aleatoria) sea del mismo tipo de uso de suelo. El cálculo del índice está basado en las adyacencias de las celdas. **El índice de agregación**, este se calcula a partir de una matriz de adyacencia, que muestra la frecuencia con que los diferentes pares de tipos de parches (incluidos como adyacencias entre el tipo mismo parche) aparecen lado a lado en el mapa y **el índice de conectancia**; este se define como el número de uniones funcionales entre parches del mismo tipo, y el criterio de la distancia es especificada por el usuario (Manual Fragstats 3.3; McGarigal *et al.* 2002).

Para el índice de conectancia se realizó un análisis de las distancias a considerar, utilizando el programa Fragstats, probando diferentes distancias (10-100 m) con el fin de conocer a qué distancia había mayor conectividad. Finalmente las distancias consideradas para el índice de conectancia fueron entre 10, 30 y 50 m, tomando en cuenta el área del potrero y la distancia entre el borde de las copas de los árboles. Las distancias fueron seleccionadas de acuerdo a la distancia entre los árboles (Fig. 19).

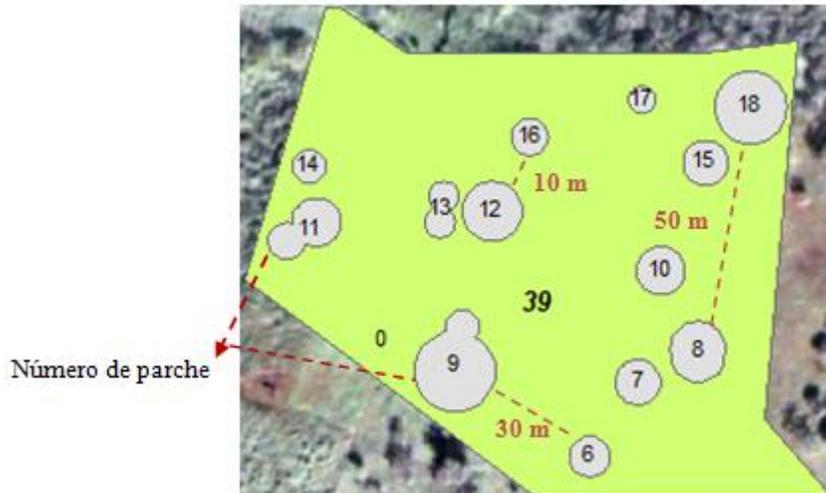


Figura 19. Distancia y número de parches de copas de árboles en los potreros

6.2.3.3 Simulación de densidades arbóreas en arreglos espaciales de árboles en potreros

Basado en datos reales de los árboles en potreros (altura de copa, diámetro de copa, altura del tronco, área de copa y área de sombra), se simuló un potrero de forma cuadrada, en un área de 4 ha con 6 densidades arbóreas, desde 5 hasta 30 árboles ha^{-1} (5, 10, 15, 20, 25, 30 árboles ha^{-1}) en tres arreglos espaciales (regular, aleatorio y agregado) y cinco réplicas para cada densidad (Fig. 20). Para la simulación de cada arreglo se consideró la base de datos original de las copas de los árboles, extrayendo de manera aleatoria los árboles hasta obtener las 6 densidades arbóreas. La distribución espacial fue corroborada con la herramienta Average Nearest Neighbor Distance en Analyzing Patterns (Arcgis v 9.3). Se calculó el área de copa y área de sombra, partiendo de las características reales de cada árbol y de la sombra proyectada por cada individuo. Esta simulación permitió encontrar el índice de percolación y determinar el umbral adecuado, procurando un balance entre el efecto negativo del sombreado sobre la productividad en las pasturas por un lado y el mantenimiento de la conectividad estructural en los potreros por el otro.

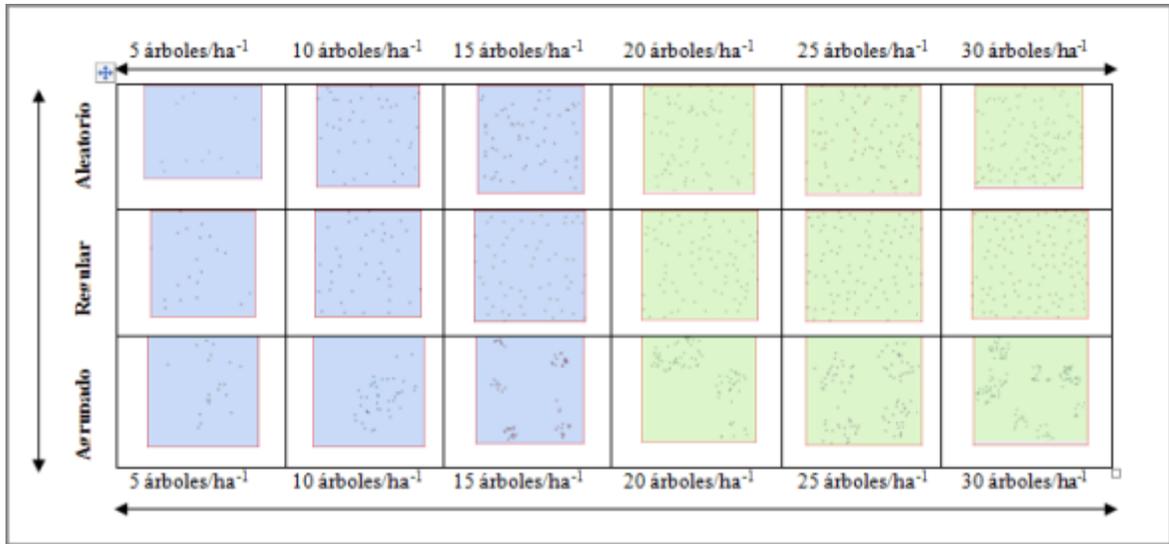


Figura 20. Simulación de densidades arbóreas por tipo de arreglo para obtener el índice de percolación

6.2.3.4 Índice de percolación

Para establecer el umbral de percolación se generó un buffer de 5 m en Arcgis 9.3 sobre las áreas de proyección de las copas de los árboles a partir de los resultados obtenidos de la simulación de réplicas de arreglo y densidades arbóreas. Se asignaron valores de 1, cuando las copas de los árboles estuvieron en contacto con los bordes del potrero y 0, cuando no hubo conexión entre las copas de los árboles y el borde del potrero (Fig.21). El índice de conectividad fue calculado como el porcentaje de potreros en los cuales hubo percolación.

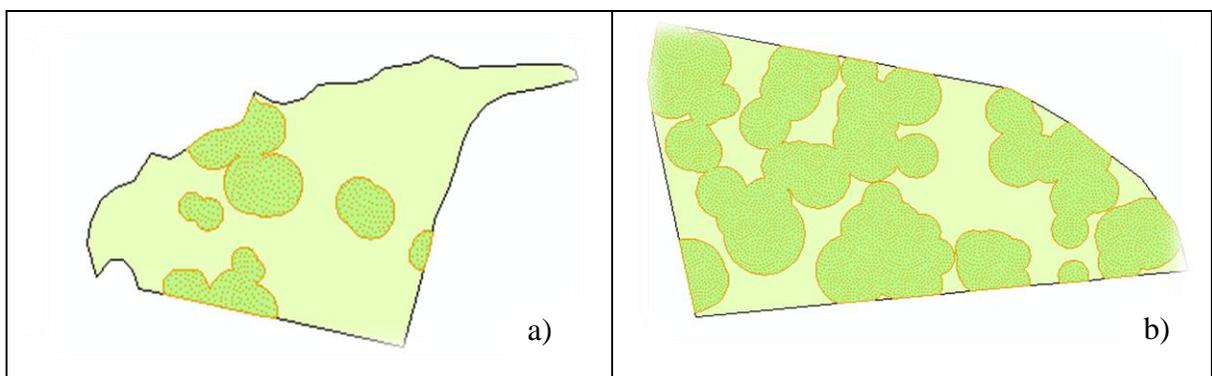


Figura 21. Valor de percolación en potreros para medir el índice de conectividad. a) valor de percolación "0" (no hay percolación) y b) valor de percolación "1" (hay percolación)

6.3 Resultados y discusión

6.3.1 Modelación de arreglos espaciales y densidades arbóreas

6.3.1.1 Arreglos espaciales

En los doce potreros en los cuales se simuló la proyección de sombra de los árboles con los tres arreglos espaciales; hubo diferencias significativas en el área del potrero y en el número de árboles ha^{-1} ($F_{(2, 67)} = 7.12$ y 7.14 respectivamente; $p = 0.0016$, Cuadro 13). No hubo diferencias significativas para ninguna otra variable (diámetro de la copa, altura de la copa, altura del tronco, área de la copa y área de sombra) medida para las 10 especies más abundantes (Cuadro 13; Anexo 4). Sin embargo, en los patrones de sombra generados con cada una de las especies (Anexo 5), hubo mayor variación en los potreros de Belén, que en los potreros de Matiguás visualizado en el programa Arcgis 9.3, según los ejemplos (Fig. 22 y 23).

Cuadro 13. Comparación entre variables según el arreglo espacial de los árboles en potreros (Matiguás y Belén)

Variables	Tipo de arreglo			F	valor p
	Agregado	Aleatorio	Regular		
Área (ha)	3.52 c	2.5 b	1.66 a	7.12	0.0016
Número árboles /ha	84.92 b	37.9 a	21.69 a	7.14	0.0016
Dap promedio (cm)	32.48 a	37 ab	35.28 b	1.8	0.1745
Altura promedio (m)	11.61 a	12.55 a	10.52 a	2.77	0.0713
Diámetro copa promedio (m)	7.92 a	9.88 a	61.34 a	1.11	0.3381
Porcentaje sombra	28.5 a	24.1 a	20.5 a	0.85	0.4314
Porcentaje cobertura arbórea	16 a	17.16 a	11.59 a	1.58	0.2145

Letras distintas indican diferencias significativas ($p \leq 0.05$) agregar error

$n=12$ potreros

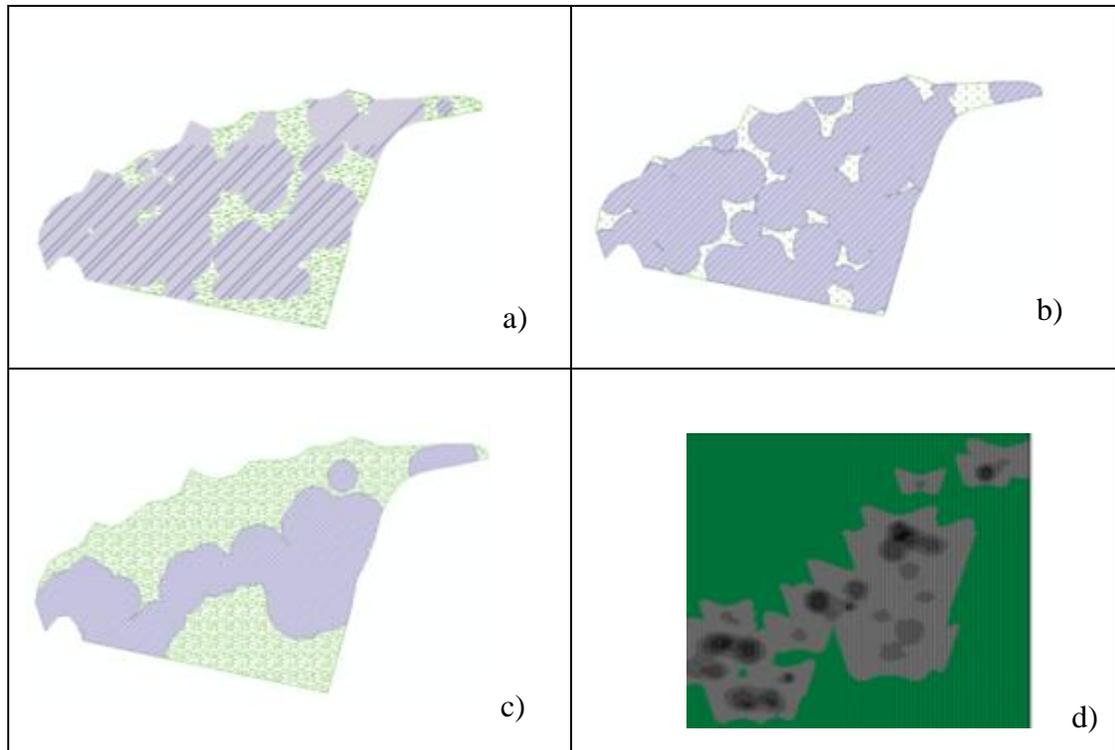


Figura 22. Patrones de sombra simulados en los 12 potreros: a) árboles con distribución aleatoria, b) árboles con distribución regular, c) árboles con distribución agrupada generados en Arcgis y d) sombra obtenida con Shademotion en potreros de Belén, Rivas

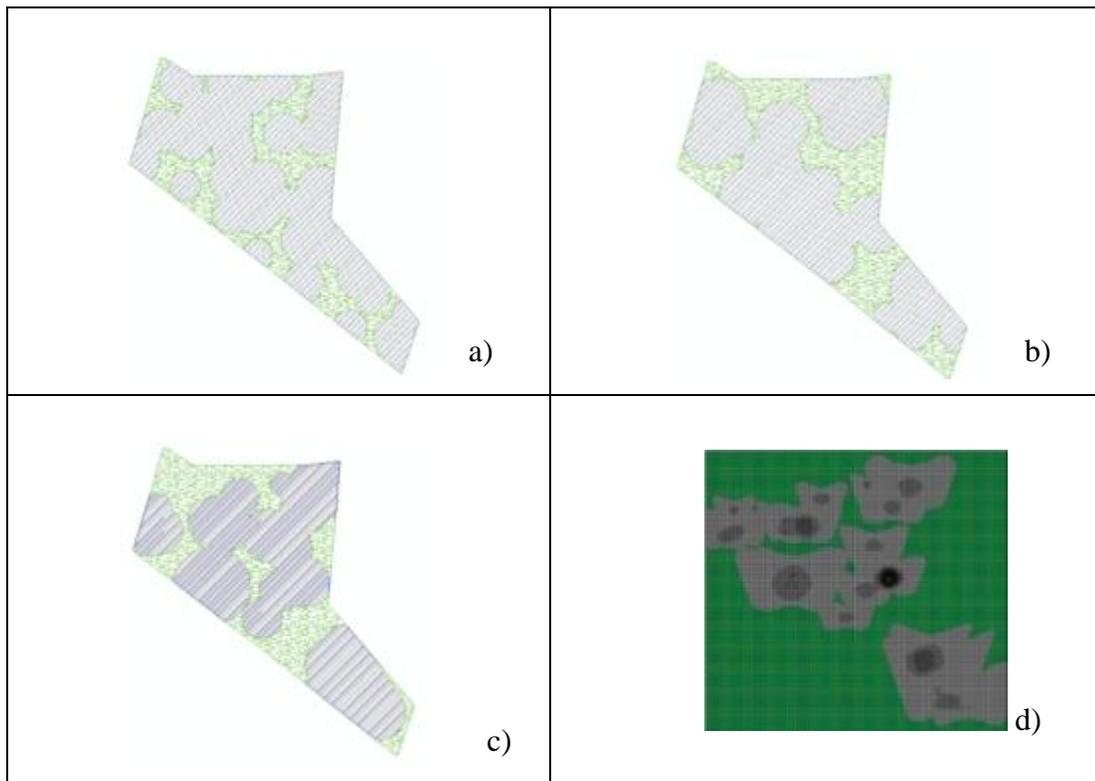


Figura 23. Patrones de sombra simulados en los 12 potreros: a) árboles con distribución regular, b) árboles con distribución aleatoria, c) árboles con distribución agrupada, generados en Arcgis y d) sombra obtenida en Shademotion en potreros de Matiguás

6.3.1.2 Densidad arbórea y arreglos espaciales

De los 1000 árboles registrados en los 12 potreros seleccionados para la simulación del arreglo y la densidad arbórea, las cinco especies que proyectaron mayor área de sombra fueron el carao (*Cassia grandis*), el coyote (*Platymiscium parviflorum*), el quebracho (*Lysiloma auritum*), el guanacaste (*Enterolobium cyclocarpum*) y el genízaro (*Albizia saman*; Anexo 6). De hecho estas especies presentaron mayor área de copa, por tanto mayor será la sombra proyectada en el potrero. Ross (1981) y Solórzano *et al.* (1998) plantean que la arquitectura del árbol (la altura, el diámetro de la copa, la forma de la copa, la densidad y la distribución del follaje) influye sobre la cantidad de luz que recibe una pastura. Además de otros factores como la orientación, la inclinación y el tamaño de las hojas (Ross 1981). Sin embargo, estos factores no fueron considerados para este estudio.

6.3.1.3 Área de sombra en la simulación de potreros con diferentes densidades arbóreas y arreglos espaciales

Para el área de sombra no hubo una interacción significativa de la densidad por el tipo de arreglo ($p > 0.05$). Sin embargo, hubo efecto sobre el área de sombra y el arreglo espacial ($F_{(2, 61)} = 25.39$; $p < 0.0001$) y de la densidad arbórea ($F_{(2, 61)} = 13.26$; $p < 0.0001$) en los potreros (Anexo 7). El área de sombra fue mayor en los arreglos con distribución regular y aleatoria que los que presentaron una distribución agregada. Así mismo, el área de sombra fue mayor en potreros con densidades de 16 y 22 árboles ha^{-1} , que en potreros con densidades de 10 árboles ha^{-1} (Fig. 24).

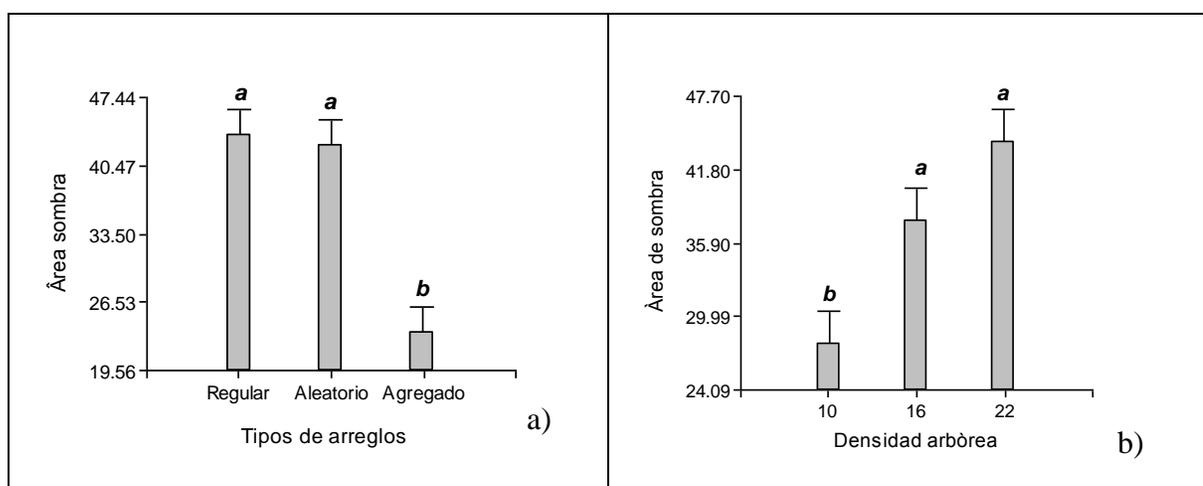


Figura 24. Comparación de medias de áreas de sombra (m^2); a) efecto del arreglo espacial sobre el área de sombra y b) efecto de la densidad arbórea sobre el área de sombra. Letras distintas indican diferencias significativas ($p < 0.05$)

6.3.1.4 Área de copa en la simulación de potreros con diferentes densidades arbóreas y arreglos espaciales

Para el área de copa, no hubo interacciones significativas de la densidad por el tipo de arreglo ($p > 0.05$). Sin embargo, hubo un efecto de la densidad ($F_{(2, 61)} = 79.76$; $p < 0.0001$; Anexo 7.1). El área de la copa fue mayor en potreros con densidades de 22 árboles ha^{-1} que los potreros con densidades de 10 y 16 árboles ha^{-1} (Fig. 25).

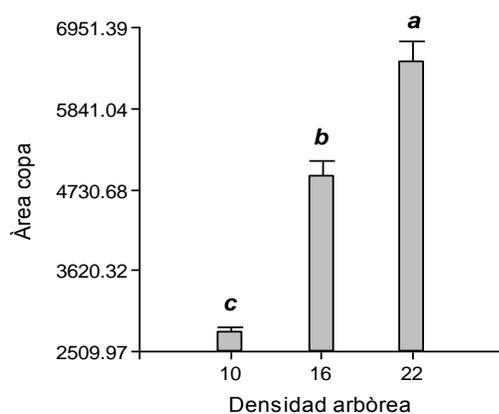


Figura 25. Comparación de medias de áreas de copa (m) y densidad arbórea a nivel de paisaje. Letras distintas indican diferencias significativas ($p < 0.05$)

6.3.2 Conectividad estructural

6.3.2.1 Análisis de métricas

6.3.2.1.1 Arreglos espaciales y densidad arbórea

Hubo efecto significativo de las interacciones del arreglo sobre las métricas de conectancia en el paisaje ($p < 0.0001$). Entre los tipos de arreglos, las diferencias para el índice de conectancia fueron en las tres distancias (10, 30 y 50 m ($F_{(2, 55)} = 6.22$, $p = 0.0037$, $F_{(2, 55)} = 26.6$; $p < 0.0001$, $F_{(2, 55)} = 16.68$; $p < 0.0001$, respectivamente). Los árboles que presentaron una distribución aleatoria tuvieron mayor valor de conectancia a distancias de 10 y 50 m. Sin embargo, a distancias de 30 m, fueron los árboles con distribución regular (Cuadro 14). Ramos (2004), considera que una alta agregación de los parches puede favorecer la conectividad.

Cuadro 14. Medias y error (E.E) de las variables de conectividad para cada tipo de arreglo, y su grado de significación estadística asociado

Variables	Tipo arreglo			F	P
	Agregado	Aleatorio	Regular		
Conectancia (10m)	5.82 ± 0.43 b	7.25 ± 0.58 a	5.75 ± 1.66 ab	6.22	0.0037
Conectancia (30m)	20.11 ± 1.71b	23.77 ± 1.81a	26.16 ± 2.18 ab	26.6	0.0001
Conectancia (50m)	35.28 ± 1.09 b	40.28 ± 1.67a	39.01 ± 3.59 ab	16.68	0.0001

Letras distintas indican diferencias significativas (p ≤ 0.05)

6.3.2.2 Simulaciones de densidades arbóreas en arreglos espaciales

6.3.2.2.1 Área de copa y área de sombra

Hubo un efecto significativo de la interacción entre la densidad y el tipo de arreglo espacial ($F_{(10, 84)} = 5.61$; $p < 0.0001$) sobre el área de proyección de la copa. Las diferencias incrementaron a medida que aumentó la densidad de árboles para cada tipo de arreglo. Al mismo tiempo fue mayor el área de la copa en árboles que presentaron una distribución aleatoria y regular que los que tuvieron una distribución agrupada manteniendo las mismas densidades. Caso similar presentó el área de sombra; ($F_{(10, 83)} = 18.14$; $p < 0.0001$). A medida que aumentó la densidad arbórea (de 15 a 25 y 30 árboles ha^{-1}), aumentó el área de la sombra. Sin embargo, en los árboles que presentaron una distribución agrupada, el área de sombra disminuyó en relación a los otros dos tipos de arreglos. Este tipo de arreglo probablemente, tenga un efecto menos negativo sobre la productividad de las pasturas ya que la sombra está concentrada en un área determinada y no en toda el área del potrero como en el caso de los otros dos tipos de arreglos espaciales (Fig.26). Giraldo *et al.* (1995) p. ej. en su estudio plantea que a bajas densidades de árboles se produjo una mayor cantidad de forraje, por lo tanto el efecto de sombreado va a depender de la cantidad de árboles ha^{-1} , así como también de la arquitectura, altura y fenología de la cada especie. Obispo *et al.* (2008) plantean que un nivel alto de sombreado puede afectar negativamente el rendimiento de la pastura, sin embargo, puede ser que al mismo tiempo, se mejore la calidad de la misma como alimento para los rumiantes.

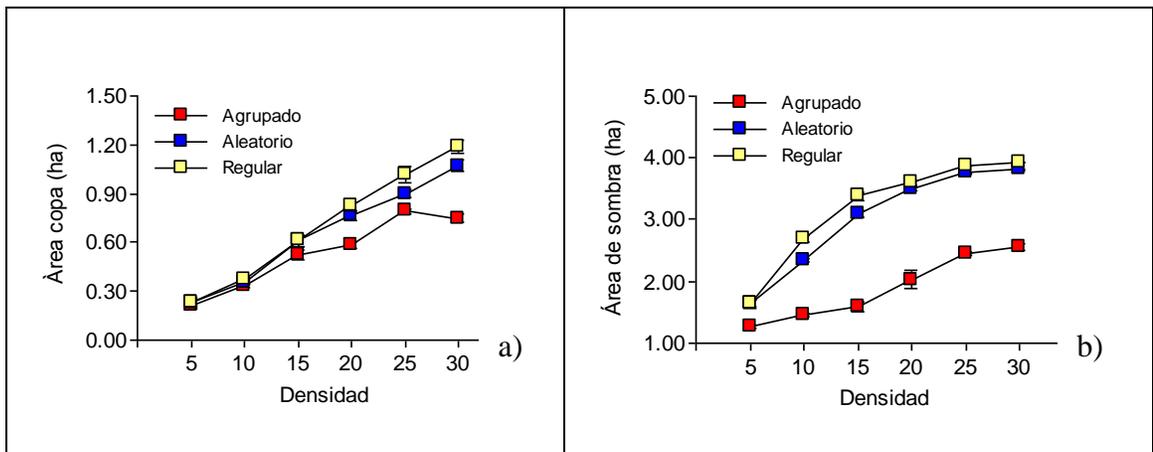


Figura 26. Efecto de cambios de la densidad arbórea y el tipo de arreglo espacial. a) área de copa y b) área de sombra de árboles en potreros simulados

6.3.2.3 Índice de percolación

La percolación en el potrero se obtuvo a partir de una densidad de 30 árboles/ha cuando la distribución fue agrupada. Cuando la distribución fue regular o aleatoria hubo percolación a partir de 15 y 20 árboles ha^{-1} respectivamente. La percolación completa (100%), se obtuvo a partir de 20 a 30 árboles ha^{-1} , cuando la distribución fue regular. Con este tipo de arreglo, a densidades > 20 árboles ha^{-1} , el paisaje probablemente estará totalmente conectado. En árboles con distribución aleatoria se logró el 100% de percolación a partir de 30 árboles ha^{-1} . Cuando los árboles tuvieron una distribución agrupada, la percolación completa se obtuvo en densidades de 35 árboles ha^{-1} . A densidades arbóreas < 20 árboles ha^{-1} , el porcentaje de percolación es menor. Para alcanzar un nivel de percolación del 100%, se requieren densidades de árboles > 20 árboles ha^{-1} (Fig.27 y 28).

Probablemente, con estas densidades se puede obtener un efecto positivo desde el punto de vista de la conservación, ya que se logra una conectividad estructural relativamente alta a nivel de potrero. Los árboles facilitan el intercambio de polen y de semillas entre fragmentos del bosque, al propiciar el movimiento de animales polinizadores (Guevara *et al.* 1994). Sin embargo, la productividad de los pastizales, tiende a decaer al aumentar la cobertura arbórea como consecuencia de una mayor área de sombreado. Algunos estudios demuestran que a bajas densidades de árboles, la productividad se incrementa. En cambio, a densidades arbóreas altas, la productividad disminuye, principalmente en áreas influidas por la copa de los árboles (Belsky *et al.* 1993).

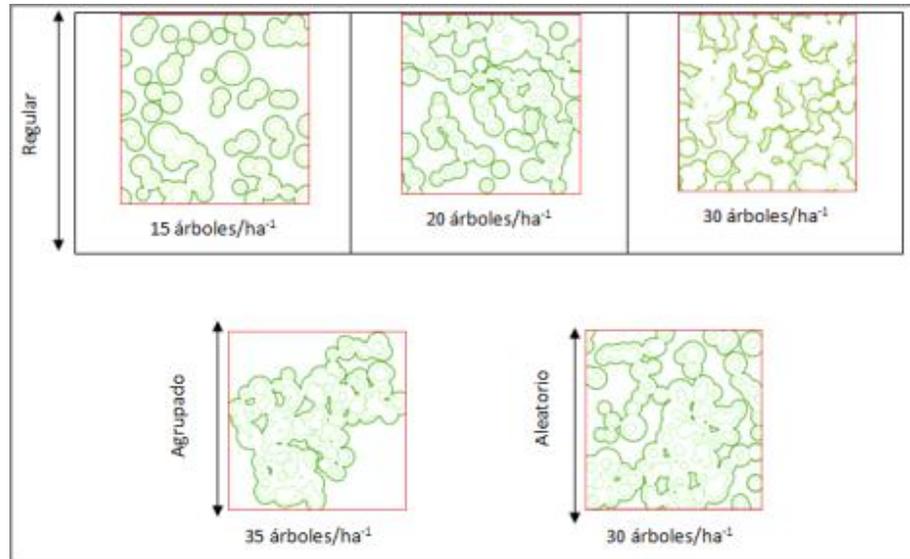


Figura 27. Diferentes densidades arbóreas simuladas en potreros para encontrar el índice de percolación

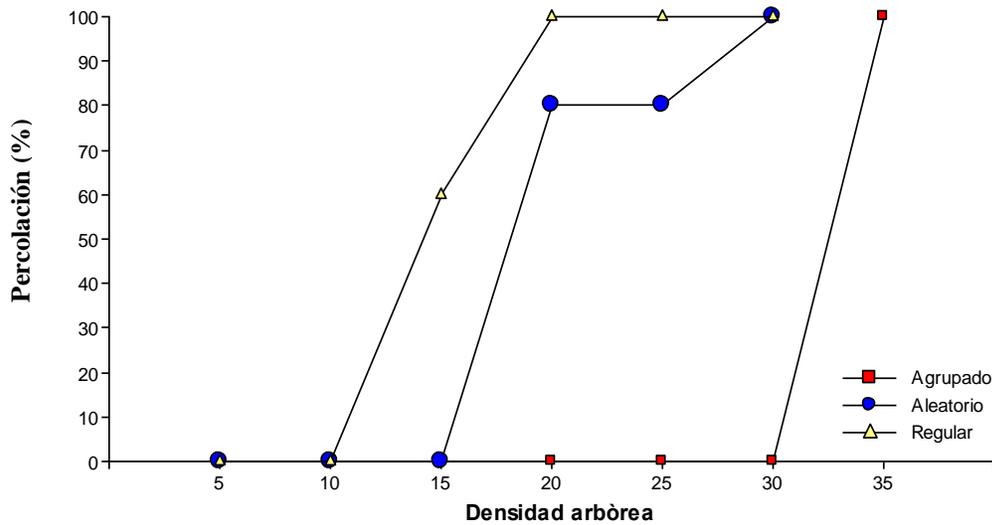


Figura 28. Umbral de percolación obtenido a partir de los cambios en la densidad arbórea y el tipo de arreglo espacial de árboles en potreros

6.3.2.3.1 Relación entre la densidad arbórea, el área de sombra y el índice de percolación

Los tres tipos de arreglo (agrupado, aleatorio y regular) presentaron diferencias en cuanto al área no sombreada y el índice de percolación. Cuando los árboles presentaron una distribución agrupada, se obtuvo un mayor índice de percolación (100%), principalmente cuando los potreros alcanzaron densidades de 35 árboles ha⁻¹, lo que resultó en un área

sombreada del 70% del área del potrero. Los árboles que presentaron una distribución aleatoria, alcanzaron un índice de percolación del 80% con densidades de 20 árboles ha⁻¹, pero el grado de sombreado se incrementó a medida que aumentó la densidad arbórea. Es contrario a los árboles que presentaron una distribución regular. A partir de 15 árboles ha⁻¹, los potreros probablemente estén conectados (índice de percolación = 60%), pero el área no sombreada es del 23% aproximadamente (Fig. 29). El tipo de arreglo puede influir sobre la productividad de los pastos y sobre la conectividad estructural a nivel de potreros, siendo más adecuado mantener potreros con árboles que presenten una distribución aleatoria porque se obtiene un efecto positivo entre la productividad y la conectividad a nivel de potreros. Estudios anteriores solamente hacen referencia a las densidades arbóreas y no a la distribución espacial más adecuada a mantener en los potreros de tal manera que el nivel de sombreado no afecte negativamente la producción de pastos (Giraldo *et al.* 1995, Penton y Blanco 1996, Esquivel 2007, Obispo *et al.* 2008).

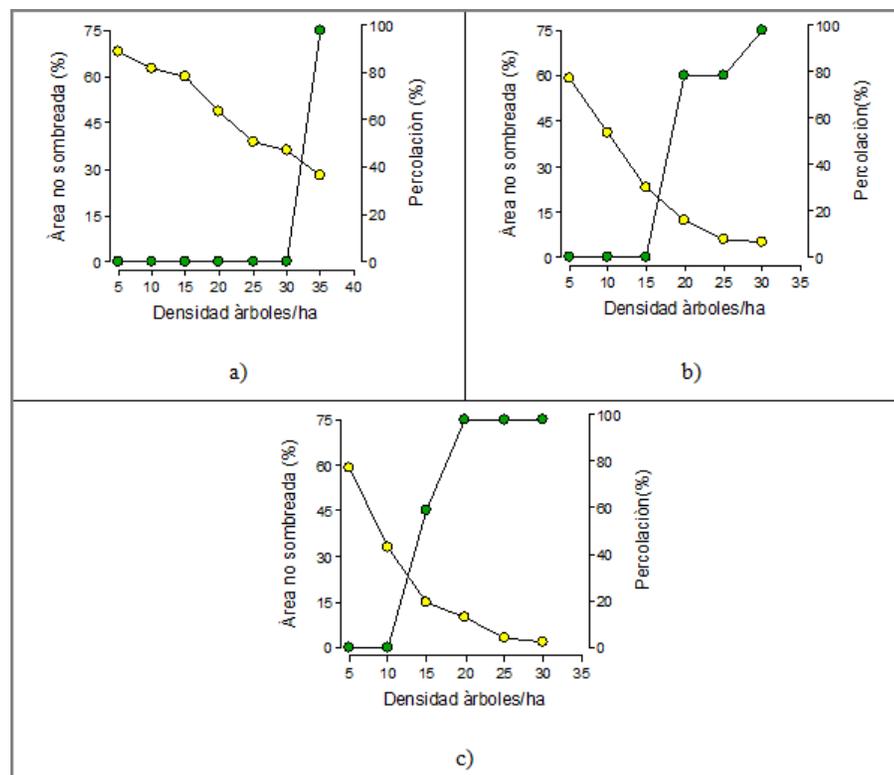


Figura 29. Relación entre el área no sombreada y el índice de percolación a partir de simulaciones de densidades arbóreas en los tres tipos de arreglos: a) agrupado, b) aleatorio y c) regular

6.4 Conclusiones y Recomendaciones

- Los Sistemas de Información Geográfica (SIG), son herramientas importantes para el análisis de las coberturas de la superficie terrestre y el análisis de patrones de distribución espacial del paisaje. Brindan la posibilidad de generar estrategias de manejo en pro de la conservación y la productividad a nivel de pasturas.
- El nivel de sombreado fue menor en los potreros con distribución de árboles de forma agregada que en los arreglos con distribución regular y aleatoria.
- Los índices de conectividad en ambos sitios muestran que existe una conectividad estructural entre los árboles dentro del potrero, independientemente del tipo de arreglo, lo que podría favorecer el movimiento de las especies en el paisaje.
- En potreros con densidades arbóreas de 15 árboles ha^{-1} , el índice de percolación fue del 60%. Sin embargo, en potreros con densidades de 30 árboles ha^{-1} , el porcentaje de percolación fue del 100% cuando la distribución es regular o aleatoria. Cuando la distribución es agregada, la percolación completa se logra a partir de 35 árboles ha^{-1} , por encima de estas densidades los potreros estarán percolados, permitiendo una mayor conectividad estructural en el paisaje, pero probablemente, una disminución en la productividad de las pasturas.

6.4.1 Recomendaciones

- Realizar mediciones de radiación fotosintéticamente activa para obtener resultados más contundentes a nivel de campo.
- Dada la importancia que han alcanzado los SSP, es importante considerar el estudio de la disponibilidad de radiación bajo la copa de los árboles. Por lo tanto es necesario profundizar sobre estos sistemas para obtener el área de la proyección de la copa y del área de la sombra para las distintas especies arbóreas.

- Utilizar arreglos espaciales de árboles en potreros que presenten una distribución aleatoria, considerando el efecto negativo que se podría generar sobre el área de pastos al utilizar densidades de árboles superiores a las recomendadas en estudios anteriores. Esto permitirá mantener conectado el paisaje sin interferir negativamente en la productividad de las pasturas.
- En diseños de SSP considerar los arreglos espaciales y la densidad arbórea a mantener en los potreros para evitar efectos de sombreado y por tanto disminución en la productividad de las pasturas.

6.5 Bibliografía

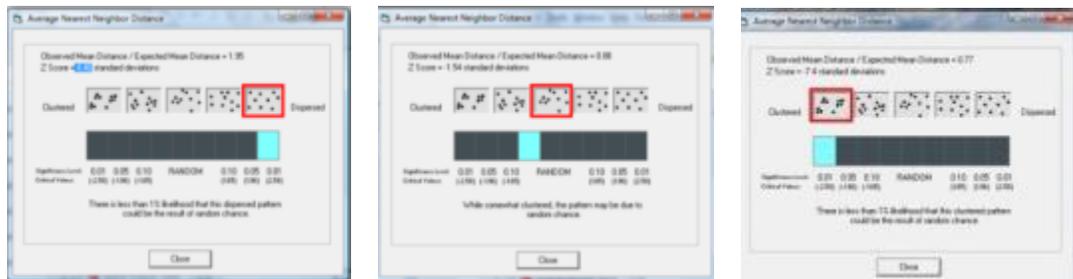
- Belsky, AJ; Mwonga, SM; Amudson, RG; Duxbury, JM; Ali, AR. 1993. Comparative Effects of isolated trees on their undercanopy environments in high and low rainfall savannas. *The Journal of Applied Ecology* 30(1):143-155.
- Esquivel, H. 2007. Tree resources in traditional silvopastoral systems and their impact on productivity and nutritive value of pastures in the dry tropics of Costa Rica. Thesis (Ph.D.). Turrialba, Costa Rica. 161 p.
- Giraldo, L.A.; Botero, J.; Saldarriaga, J.; David, P. 1995. Efecto de tres densidades de árboles en el potencial forrajero de un sistema silvopastoril natural, en la región Atlántica de Colombia. *Agroforestería en las Américas*. 8: 14-19.
- Guevara, S.; Meave, J.; Moreno-Cassasola, P.; Laborde, J.; Castillo, S. 1994. Vegetación y flora de potreros en la sierra de los Tuxtlas, México. *Acta Botánica Mexicana* 28: 1-27.
- Harvey C; Alpizar F; Chacón M; Madrigal, R. 2005. Assessing linkages between agriculture and biodiversity in Central America: Historical overview and future perspectives. Mesoamerican and Caribbean Region, Conservation Science Program. San José, CR, The Nature Conservancy (TNC). 140 p.
- _____; Villanueva, C; Ibrahim, M.; Gómez, R.; López, M.; Kunth, S.; Sinclair, F. 2008. Productores, árboles y producción ganadera en paisajes de América Central: implicaciones para la conservación de la biodiversidad. *In* Harvey, C.A.; Sáenz, J. Evaluación y conservación de la biodiversidad en paisajes fragmentados de Mesoamérica. INBio/CATIE/UNA. 1 ed. Heredia, Costa Rica. p. 197_224.

- Holdridge, L.R. 1978. Ecología basada en zonas de vida. San José, CR, IICA. 216 p. (Serie Libros y Materiales Educativos IICA no. 34).
- Ibrahim, M.; Mora, J.; Rosales, M. 2001. Potencialidades de los Sistemas Silvopastoriles para la Generación de Servicios Ambientales: memorias de una conferencia electrónica, Turrialba, C.R. CATIE/FAO/LEAD. Serie Técnica. Informe Técnico no. 11: 10 – 33.
- INETER (Instituto nicaragüense de estudios territoriales). 2000. Zonificación de la III y IV región. Informe de Campo. INETER, Managua, Nicaragua, En prensa. 18 p. Disponible en Internet en [http://www.inifom.gob.ni/docs/caracterizaciones/Matiguás .pdf](http://www.inifom.gob.ni/docs/caracterizaciones/Matiguás.pdf)
- INIFOM (Instituto Nicaragüense de Fomento Municipal). 2005. Ficha municipal de Matiguás.
- MAGFOR (Ministerio de Agricultura, Ganadería y Forestal) 2001. Información cartográfica. MAGFOR.NI.
- McGarigal, K.; S. A. Cushman; M. C. Neel; y E. Ene. 2002. FRAGSTATS: Spatial Pattern Analysis Program for Categorical Maps. Computer software program produced by the authors at the University of Massachusetts, Amherst. Available at the following web site: www.umass.edu/landeco/research/fragstats/fragstats.html
- Montagnini, F; Ugalde, L; Navarro, C. 2003. Growth characteristics of some native tree species used in silvopastoral systems in the humid lowland of Costa Rica. *Agroforestry Systems* 59:163-170.
- Nair, P.K.R. 1991. State-of-the-art of agroforestry systems. *Forest Ecology and Management* 45: 5-29.
- _____. 1997. *Agroforestería*. Chapingo, Méx. : 543 p.
- Naranjo, L.G. 2006. Sistemas agroforestales para la producción pecuaria y la conservación de la biodiversidad. American Bird Conservancy. ww.produccion-animal.com.ar
- Obispo, N. Espinoza, Y. Gil, J. Ovalles, F., Rodríguez, M. 2008. Efecto del sombreado sobre la producción y calidad del pasto guinea (*Panicum maximum*) en un sistema silvopastoril. *Zootecnia Trop.*, 26(3): 285-288.
- Pezo, D., Ibrahim, M. 1999. Sistemas silvopastoriles. Módulo de Enseñanza Agroforestal No.2. Materiales de Enseñanza No.40. CATIE, Turrialba, Costa Rica 258 p.
- Pentón, G. y Blanco, F. 1996. Efecto de la sombra de los árboles sobre el pastizal en un sistema seminatural. FAO. Consultado agost. 2009. Disponible en <http://www.fao.org/>

- Ramos Z.S. 2004. Estructura y composición de un paisaje boscoso fragmentado: herramienta para el diseño de estrategias de conservación de la biodiversidad. Tesis Mag. Sc. CATIE, Turrialba, C.R. p. 3-12.
- Ross, J. 1981. The Radiation Regime and Architecture of Plant Stands. W. Junk, The Hague.
- Solórzano, N.; Arends, E. y Escalante, E. 1998. Efectos del saman (*Samanea saman* (Jacq.) sobre la fertilidad del suelo en un pastizal de estrella (*Cynodon nlemfuensis* Vanderyst) en Portuguesa. Facultad de Ciencias Forestales y Ambientales, Instituto de Investigaciones para el Desarrollo Forestal (INDEFOR), Mérida-Venezuela.
- Villanueva, C.; Tobar, D.; Ibrahim, M.; Casasola, F.; Barrantes, J.; Arguedas, R. 2007. Árboles dispersos en potreros en fincas ganaderas del Pacífico Central de Costa Rica. Agroforestería en las Américas. 45: 12-20.

ANEXOS

Anexo 1.. Índice de relación de vecindad utilizado para la clasificación de los patrones de distribución de los árboles en los potreros según el arreglo espacial (Arcgis 9.3)

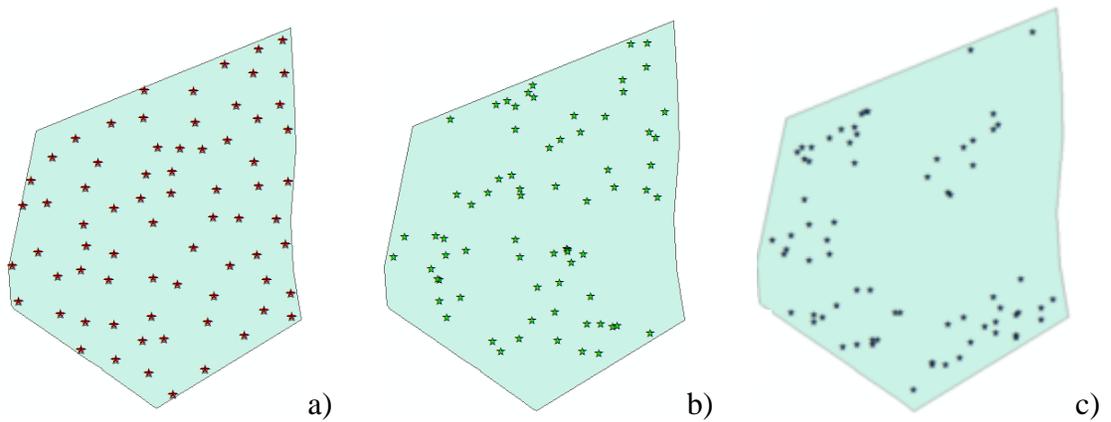


Árboles regulares

Árboles aleatorios

Árboles agrupados

Anexo 2. Distribución espacial de los árboles en potrero: a) distribución de forma regular, b) distribución aleatoria y c) distribución agrupada



Anexo 3. Distribución espacial de árboles en potreros a partir del índice de distancia con el (Índice dist) en Matiguás y Belén (utilizando Arcgis 9.3)

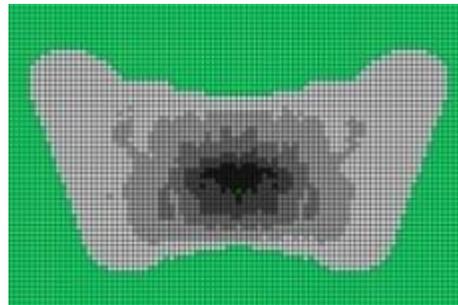
Tipo arreglo	Matiguás		Belén		Matiguás		Belén		Matiguás		Belén	
	Agrupado				Regular				Alcatorio			
Potrero	Índice dist	valor Z										
1	0.71	-4.73	0.65	-5.25								
2			0.61	-7.07	1.6	3.43						
3	0.77	-7.4	0.78	-3.12								
4					0.84	-3.12					0.89	-1.13
5									1.09	1.02	1.1	0.96
6	0.67	-6.28									1.05	1.05
7					1.79	4.78					0.99	0.99
8							1.62	3.36	1.01	0.12		
9									0.91	-1.09	0.86	-1.4
10							1.26	2.39	1.02	0.36		
11			0.88	-2					1.1	1.12		
12	0.79	-3.69									1.09	0.93
13									0.99	-0.11	1.04	0.44
14					1.18	1.74					0.87	-1.31
15					1.94	5.38					1.06	0.33
16							1.43	1.43	1.05	0.31		
17	0.85	-2.28									0.94	-0.9
18									0.95	-0.46		
19									0.96	-0.4		
20									1.17	1.44		
21									1.02	0.27		
22									0.87	-1.58		
23									0.94	-1.08		
24									0.94	-0.94		
25	0.78	-3.57										
26					1.23	1.23						
27					1.23	1.23						
28	0.76	-2.39										
29	0.83	-2.06										
30									0.96	-0.46		
31									1.01	0.12		
32									1.06	0.71		
33									0.88	-1.54		
34									1.13	1.13		
35					1.95	4.46						
36									0.93	-0.68		
37									0.95	0.95		
38	0.84	-2.5										

Tipo arreglo	Matiguás		Belén	Matiguás		Belén	Matiguás		Belén
	Agrupado			Regular			Aleatorio		
39	0.76	-2.62							
40	0.76	-3.8							
41	0.79	-4.14							
42							0.94	-0.73	
43							1.01	0.13	
44							0.97	-0.44	

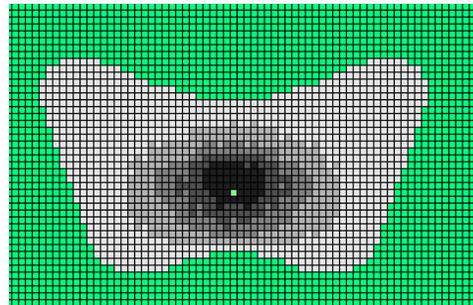
Anexo 4. Especies arbóreas más abundantes en potreros simulados

Especie	n	Diámetro		Altura		Área copa	Área sombreada (m)
		copa	Altura copa	tronco			
Guacimo (<i>Guazuma ulmifolia</i>)	165	10.96 ± 0.28 abc	4.37 ± 0.14 abc	5.35 ± 0.17 abcd	104.61 ± 6.02 ab	812.59 ± 34.91 abc	
Genizaro (<i>Albizia saman</i>)	147	12.56 ± 0.34 abc	5.47 ± 0.15 abcd	5.59 ± 0.28 abcd	137.2 ± 7.86 ab	1187.48 ± 73.29 abc	
Coyote (<i>Platymiscium parviflorum</i>)	93	9.43 ± 0.29 abc	8.09 ± 0.26 cde	6.96 ± 0.35 abcd	75.91 ± 6.15 ab	1384.1 ± 78.6 abc	
Laurel (<i>Cordia alliodora</i>)	93	9.15 ± 0.35 abc	7.24 ± 0.23 bcde	5.96 ± 0.24 abcd	74.47 ± 6.8 ab	1069.18 ± 55.43 abc	
Guanacaste (<i>Enterolobium cyclocarpum</i>)	91	11.62 ± 0.48 abc	6.85 ± 0.26 abcd	5.56 ± 0.35 abcd	122.18 ± 13.82 ab	1296.68 ± 93.85 abc	
Nancite (<i>Byrsonima crassifolia</i>)	55	11.17 ± 0.48 abc	4.47 ± 0.24 abc	5.05 ± 0.24 abcd	107.83 ± 9.74 ab	749.91 ± 50.85 abc	
Macueli (<i>Tabebuia rosea</i>)	51	9.68 ± 0.23 abc	4.57 ± 0.24 abc	5.9 ± 0.33 abcd	75.67 ± 3.67 ab	787.67 ± 43.81 abc	
Quebracho (<i>Lysiloma auritum</i>)	34	13.62 ± 0.67 bc	6.21 ± 0.37 abcd	6.79 ± 0.43 abcd	157.36 ± 14.7 b	1343.32 ± 110.85 abc	
Carao (<i>Cassia grandis</i>)	31	13.22 ± 0.71 abc	6.14 ± 0.54 abcd	7.96 ± 0.93 abcd	149.51 ± 15.91 b	1636.03 ± 212.12 bc	
Jocote (<i>Spondias purpurea</i>)	21	7.57 ± 0.31 ab	3.6 ± 0.35 ab	3.05 ± 0.43 a	46.58 ± 3.93 ab	369.76 ± 72.55 a	

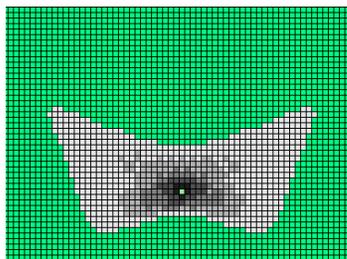
Anexo 5. Patrones de sombra proyectada a partir de la simulación con algunas de las especies abundantes en Belén y Matiguás



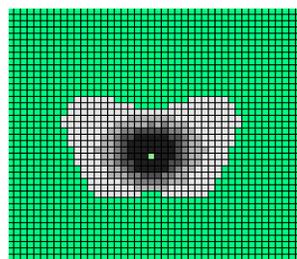
Árbol de guanacaste



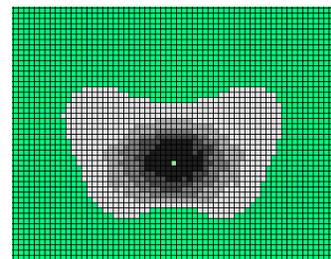
Árbol de genízaro



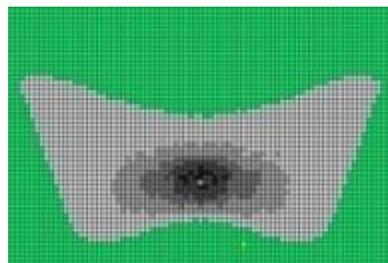
Árbol de coyote



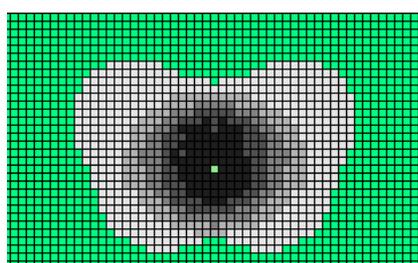
Árbol de guácimo



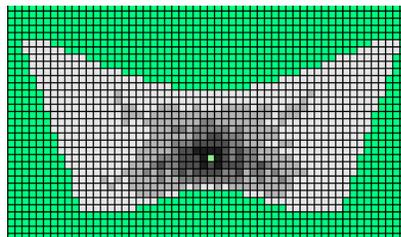
Árbol de roble



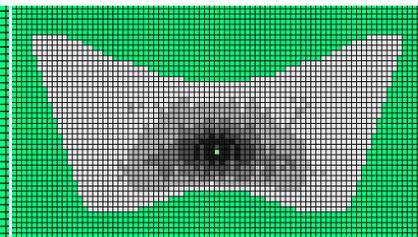
Árbol de pochote



Árbol de nancite



Árbol de laurel



Árbol de jocote

Anexo 6. Caracterización de las especies arbóreas con mayor proyección de sombra simulada en los potreros de Matiguás y Belén (Rivas)

Especie	n	Diámetro			Área copa	Área sombreada (m)
		copa	Altura copa	Altura tronco		
Guacimo (<i>Guazuma ulmifolia</i>)	165	10.96 ± 0.28 abc	4.37 ± 0.14 abc	5.35 ± 0.17 abcd	104.61 ± 6.02 ab	812.59 ± 34.91 abc
Genizaro (<i>Albizia saman</i>)	147	12.56 ± 0.34 abc	5.47 ± 0.15 abcd	5.59 ± 0.28 abcd	137.2 ± 7.86 ab	1187.48 ± 73.29 abc
Coyote (<i>Platymiscium parviflorum</i>)	93	9.43 ± 0.29 abc	8.09 ± 0.26 cde	6.96 ± 0.35 abcd	75.91 ± 6.15 ab	1384.1 ± 78.6 abc
Laurel (<i>Cordia alliodora</i>)	93	9.15 ± 0.35 abc	7.24 ± 0.23 bcde	5.96 ± 0.24 abcd	74.47 ± 6.8 ab	1069.18 ± 55.43 abc
Guanacaste (<i>Enterolobium cyclocarpum</i>)	91	11.62 ± 0.48 abc	6.85 ± 0.26 abcd	5.56 ± 0.35 abcd	122.18 ± 13.82 ab	1296.68 ± 93.85 abc
Nancite (<i>Byrsonima crassifolia</i>)	55	11.17 ± 0.48 abc	4.47 ± 0.24 abc	5.05 ± 0.24 abcd	107.83 ± 9.74 ab	749.91 ± 50.85 abc
Macueli (<i>Tabebuia rosea</i>)	51	9.68 ± 0.23 abc	4.57 ± 0.24 abc	5.9 ± 0.33 abcd	75.67 ± 3.67 ab	787.67 ± 43.81 abc
Quebracho (<i>Lysiloma auritum</i>)	34	13.62 ± 0.67 bc	6.21 ± 0.37 abcd	6.79 ± 0.43 abcd	157.36 ± 14.7 b	1343.32 ± 110.85 abc
Carao (<i>Cassia grandis</i>)	31	13.22 ± 0.71 abc	6.14 ± 0.54 abcd	7.96 ± 0.93 abcd	149.51 ± 15.91 b	1636.03 ± 212.12 bc
Jocote (<i>Spondias purpurea</i>)	21	7.57 ± 0.31 ab	3.6 ± 0.35 ab	3.05 ± 0.43 a	46.58 ± 3.93 ab	369.76 ± 72.55 a

Anexo 7. Pruebas de hipótesis secuenciales para el área de sombra según la densidad arbórea y el tipo de arreglo

Variables	numDF	denDF	F-value	p-value
(Intercept)	1	61	374.99	<0.0001
Densidad	2	61	13.26	<0.0001
Arreglo	2	61	25.39	<0.0001
RANG_Area_potrero	1	61	109.16	<0.0001
Densidad:Arreglo	4	61	1.33	0.2695

Anexo 7.1 Pruebas de hipótesis secuenciales para el área de copa según la densidad arbórea

Variables	numDF	denDF	F-value	p-value
(Intercept)	1	61	3889.41	<0.0001
Arreglo	2	61	11.52	0.0001
Densidad	2	61	79.76	<0.0001
LN_Area_potrero	1	61	1122.79	<0.0001
Arreglo:Densidad	4	61	0.31	0.8694