

Avances de Investigación

Movimientos de *Thryothorus rufalbus* (aves: Troglodytidae) y conectividad funcional en el paisaje fragmentado de Matiguás, Nicaragua

A. Martínez¹, B. Finegan², F. DeClerck³, J. Sáenz⁴, F. Casanoves³, S. Velázquez³

RESUMEN

La importancia de los paisajes agrícolas para la conservación de especies asociadas al bosque ha sido relegada a segundo plano, sin embargo, es cada vez más evidente que estos sistemas tienen una gran capacidad para mantener estas poblaciones. Para evaluar la movilidad de la especie *Thryothorus rufalbus*, la cual depende del bosque, se capturaron varios individuos ($n = 29$) y se marcaron con anillos de colores ($n = 19$) y radiotransmisores ($n = 10$). Además, para 10 individuos se construyeron mapas de movimientos (ámbitos de acción). Por otra parte, utilizando dos métodos diferentes, *fixed* Kernel y Polígono Mínimo Convexo, ($p < 0,0001$) no se encontraron diferencias significativas en los cálculos de las áreas en general, ni en las áreas calculadas para individuos capturados en parches conectados *versus* parches aislados ($p = 0,3170$). Los valores de fricción empleados para la creación de una propuesta de conectividad estructural fueron comparados y se comprobó que el mayor número de observaciones correspondió a hábitats con menores valores de fricción. Los movimientos de dos individuos de las especies *T. rufalbus* y *Chiroxiphia linearis* sugieren la existencia de conectividad funcional en el paisaje de Matiguás.

Palabras claves: ámbitos de hogar, bosque, dependiente, dispersión, parches

ABSTRACT

Agricultural landscapes have been left in second place regarding their importance for forest dependent species, however, nowadays is evident that these productive systems have a great capacity to maintain these populations. To evaluate the mobility of forest dependent species *Thryothorus rufalbus*, individuals were captured ($n = 29$) and marked with color bands ($n = 19$) and radio transmitters ($n = 10$). Movement maps (home range) were constructed for the ten individuals with radio transmitters. No significant differences were found regarding calculated areas with two different map construction methods, *fixed* Kernel and Minimum Convex Polygon, ($p < 0.0001$) no did the calculated areas of individuals captured in connected *versus* isolated forest patches ($p = 0.3170$). Friction values used for the creation of a structural connectivity proposal were compared and resulted in a greater number of observations corresponding to the lesser friction values. Movements of two individuals of *T. rufalbus* and *Chiroxiphia linearis* suggest the existence of functional connectivity within the Matiguas landscape.

Keywords: home range, forest, dependent, dispersion, patches

INTRODUCCIÓN

Los diferentes arreglos espaciales de los elementos inmersos en una matriz determinan la existencia o no de conectividad tanto estructural como funcional dentro de un paisaje cualquiera (Dunning *et al.* 1992, Taylor *et al.* 1993, Ricketts 2001, Corlatti *et al.* 2009). La pérdida de superficie boscosa tiene como consecuencia la fragmentación de hábitats, proceso dinámico que genera cambios en la composición y estructura de los bosques y en la disposición espacial de los remanentes de bosques en el paisaje (Bennett

2004). Nicaragua no es ajena a este proceso y se calcula que su tasa de deforestación anual es de 150.000 ha/año (INAFOR 2004). Esta fragmentación de hábitats naturales está íntimamente ligada al declive de muchas especies debido a su poca capacidad para adaptarse a hábitats alterados (Coulon *et al.* 2004), como consecuencia de esto los esfuerzos de investigación y de conservación actuales no sólo se enfocan en los tipos de hábitats que persisten en el paisaje, sino también en su distribución y en la matriz en la que están inmersos (Schumaker 1996, Ramírez 2006).

¹ Basado en Conectividad funcional para aves terrestres dependientes de bosque en un paisaje fragmentado en Matiguas, Nicaragua. Tesis Mag. Sc. Turrialba, CR, CATIE.

² M.Sc. en Manejo y Conservación de Bosques Tropicales y Biodiversidad, CATIE, Turrialba, Costa Rica. Correo electrónico: amartinez@catie.ac.cr

³ Profesores-investigadores, CATIE, Turrialba, Costa Rica. Correos electrónicos: bfinegan@catie.ac.cr, fdeclerck@catie.ac.cr; casanoves@catie.ac.cr; svelasquez@catie.ac.cr

⁴ Instituto Internacional en Conservación y Manejo de Vida Silvestre (ICOMVIS) Universidad Nacional, Heredia, Costa Rica. Correo electrónico: jsaenz@una.ac.cr

La conectividad se entiende como el grado en el que un paisaje permite o dificulta el movimiento de las especies animales y vegetales, con el propósito de facilitar los diferentes procesos ecológicos que definen la dinámica poblacional y que incluyen mecanismos tan importantes como la dispersión y la colonización de nuevos territorios (Taylor *et al.* 1993). Los arreglos de los diferentes tipos de hábitat afectan directamente a las poblaciones animales que viven dentro de estos paisajes complejos (Clergeau y Burel 1997) y pueden llevar a causar su aislamiento, lo que a su vez puede inducir a largo plazo procesos de extinción local (Bennett 2004). Entre tanto, la conectividad funcional se refiere a la habilidad de los individuos para moverse dentro de los diferentes elementos que conforman un paisaje y está determinada por las interacciones entre su comportamiento y la estructura misma del paisaje (Bennett 2002, Stevens *et al.* 2004).

Un elemento fundamental que puede ser esencial para facilitar la conectividad funcional para algunas especies es la conectividad estructural. Los paisajes que proveen de esta conectividad son aquellos en donde los individuos de una especie determinada pueden desplazarse con libertad entre hábitats adecuados (Bennett 2004). Algunos estudios han demostrado que muchas especies, especialmente aquellas del interior del bosque, sienten aversión a entrar en áreas abiertas (Bierregaard *et al.* 1992, Sieving 2000, Castellón y Sieving 2006). Sin embargo, poco se conoce sobre la movilidad de las especies dependientes del bosque dentro de paisajes intervenidos (Stevens *et al.* 2004), o bien, sus requerimientos en términos de áreas para el establecimiento de territorios o ámbitos de hogar⁷. Esto es especialmente trascendente cuando se conoce que la capacidad de los animales para desplazarse por el paisaje es primordial para la conservación de ecosistemas naturales (Bennett 2004).

Dada la importancia, para la conservación de la biodiversidad, que tienen los movimientos de los individuos de diferentes especies dentro de los paisajes heterogéneos (DeFries *et al.* 2005), es necesario comprender la capacidad que tienen estas especies para sobrellevar y sortear elementos hostiles dentro de un paisaje fragmentado (Morales y Ellner 2002, Morrison y Boyce 2008), especialmente si consideramos a las especies dependientes del bosque que persisten en paisajes intervenidos. Este conocimiento es necesario para establecer planes de conservación dentro de las áreas productivas

que aún mantienen a estas especies, al igual que para preservar la viabilidad de las poblaciones donde la conectividad estructural ha sido probada. Actualmente, existen muchos vacíos de información con respecto al uso de estas conexiones por parte de especies animales, es decir, el grado de conectividad funcional que éstas proveen, por lo tanto estudios enfocados a este objetivo son cada vez más necesarios.

Con el propósito de evaluar el grado de movilidad de las especies dependientes del bosque en el paisaje fragmentado de Matiguás, el presente estudio tuvo como objetivos elaborar mapas de ámbitos de hogar de la especie *Thryothorus rufalbus*, con el fin de identificar los tipos de hábitats que están utilizando, comparar la conectividad funcional provista por parches de bosque conectados y aislados para esta especie y evaluar la validez de una propuesta de conectividad estructural para el área de Matiguás, con base en las observaciones de los movimientos de tres especies dependientes del bosque: *Chiroxiphia linearis*, *Thryothorus rufalbus* y *Thamnophilus doliatus*. Los resultados obtenidos contribuyen a generar conocimiento acerca de cómo las especies dependientes del bosque usan el paisaje y el cómo los diferentes usos de suelo facilitan o no la movilidad o conectividad funcional de estas especies.



El toledo (*Chiroxiphia linearis*). Foto: BNPP

⁷ Los ámbitos de hogar se definen como “las áreas en donde los individuos se movilizan para realizar satisfactoriamente sus necesidades diarias” (Burt 1943), actividades que incluyen, alimentación, reproducción, sitios de descanso, entre otros.

MATERIALES Y MÉTODOS

Descripción del sitio

El área de estudio se ubicó en el municipio de Matiguás, departamento de Matagalpa, aproximadamente a 250 km de la ciudad capital, Managua. Este municipio se sitúa en la Región Central Norte de Nicaragua, a 12°50' latitud norte y 85°27' longitud oeste, es el más grande de los 13 que conforman el departamento de Matagalpa y uno de los de mayor superficie de la región ya que tiene un área de 1.710 km² (INETER 2006). La temperatura media anual es de 27 °C y la precipitación media anual varía entre 1.800 y 2.000 mm, cabe señalar que la temporada seca (enero-abril) y lluviosa (mayo-diciembre) son muy marcadas en toda la zona Pacífica y Central del país. La topografía del área es fuertemente ondulada con pendientes entre 30 y 50% y con suelos predominantemente arcillosos. La zona posee un rango altitudinal que varía entre los 200 y los 300 msnm (Cerrud 2005, MAGFOR 2001). Matiguás se encuentra en un área de transición entre el bosque tropical seco y el húmedo (Harvey *et al.* 2003, Meyrat 2000) y corresponde a la zona de vida Bosque Húmedo Tropical, según el sistema de clasificación de Holdridge (2000).

Descripción del ensayo

Para llevar a cabo la investigación se capturaron y colocaron anillos de colores a individuos de tres especies dependientes del bosque, saltarín toledo (*Chiroxiphia linearis*), hormiguero búlico (*Thamnophilus doliatus*) y charralero rufiblanco (*Thryothorus rufalbus*). Los individuos fueron capturados en cuatro diferentes parches de bosque, a través de redes de niebla, con el propósito de reavistar a los individuos anillados se recorrieron transectos lineales (100 m) en diferentes usos de suelo (potreros abiertos, potreros con árboles y cercas vivas), circundantes a los parches en donde se hicieron las capturas y se realizaron búsquedas intensivas dentro de los mismos parches.

Además del marcaje con anillos se seleccionó a *Thryothorus rufalbus* para ejecutar un experimento con radio telemetría. La selección de la especie se hizo con base en la frecuencia de observaciones, los hábitos y su masa corporal. Para la captura y colocación de los radiotransmisores se seleccionaron 10 parches de bosques adicionales, cinco conectados y cinco aislados. Los individuos fueron capturados a través de redes de niebla y se les colocó un radiotransmisor del modelo CHP-8 (1,2 g), fabricados y programados por la compañía TELONICS (Arizona, USA). La antena receptora utilizada fue la RA-14K y el radio receptor el TR-4 (TELONICS, Arizona, USA). La técnica para adherir

los radiotransmisores consistió en una combinación de las técnicas descritas por Raim (1978) y Rappole y Tipton (1991). Una vez colocado el radiotransmisor las aves eran liberadas en el mismo sitio de la captura. Los individuos fueron monitoreados de manera continua, mientras el radiotransmisor permaneció adherido, durante las 6 a.m. hasta las 3 p.m. de cada día. Se tomaron datos de comportamiento y de localización (coordenadas geográficas), con un GPS *Garmin 12XL*, cada 20 minutos, una vez localizados los individuos en los diferentes parches de bosque.

La selección de los parches estuvo dominada por dos criterios fundamentales, el primero, tener un área mayor a 10 ha ya que de acuerdo a Stouffer y Borges (2001), no existe diferencia entre fragmentos de bosque con áreas que varíen entre 1 ha y 10 ha y el segundo, cumplir con la definición de parche aislado y parche conectado elaborada para fines de este estudio. La delimitación de los ámbitos de hogar se realizó con ayuda del programa *Arcview GIS versión 3.3* por medio de la extensión *Animal Movement* (USGS 1998).

También, se corrieron pruebas de fidelidad de sitio que corresponden a una modificación del test de Monte Carlo (Spencer *et al.* 1990) adecuada a la extensión para análisis de movimientos. El cálculo de los ámbitos de hogar se realizó a través de los métodos fixed de Kernel y Polígono Mínimo Convexo (MCP, por sus siglas en inglés). Una vez creados los ámbitos de hogar se calcularon las áreas correspondientes por cada uno de los métodos empleados (Kernel y MCP) y se comparó la eficiencia de ambos métodos a través de una Prueba T Pareada. Por último, con el fin de determinar la existencia de correlación entre la cantidad de localizaciones y las áreas calculadas se hizo un análisis de correlación de Pearson entre las áreas calculadas y el número de localizaciones por ambos métodos, esto con el propósito de descartar errores en las áreas calculadas como resultado de diferencias en el esfuerzo de muestreo. Todos los análisis fueron ejecutados con ayuda del paquete estadístico *InfoStat*.

Con los datos recolectados de las especies focales en los transectos, capturas, búsquedas intensivas, así como en las localizaciones de individuos de *T. rufalbus* con radiotransmisores, se procedió a determinar si las especies focales de este estudio están utilizando las áreas con menores valores de fricción de acuerdo a la red de conectividad estructural elaborada por Useche (2006) para este paisaje.

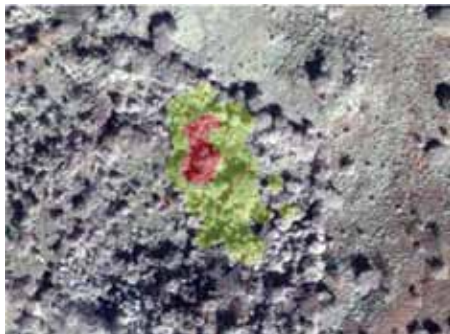
RESULTADOS

Un total de 114 individuos de las tres especies focales fueron capturados y anillados con un esfuerzo de captura promedio de 380 horas/red. Del total de aves anilladas únicamente tres fueron observadas posteriormente, dos individuos de la especie *Thryothorus rufalbus*, vistos dentro de los parches de bosque en que fueron anillados originalmente, y un individuo de *Chiroxiphia linearis* capturado en un parche de bosque aislado aproximadamente a 3,8 km (en línea recta) del área de captura original. Durante los recorridos de los transectos no se observaron individuos anillados en los hábitats de potreros abiertos, potreros con árboles y cercas vivas y muy pocos individuos de estas especies fueron observados sin anillos. Estas observaciones coinciden con la definición de dependientes del bosque dada a estas especies. La especie que obtuvo la mayor cantidad de capturas fue la *Chiroxiphia linearis*, con un total de 88 individuos, las otras dos especies focales tuvieron

muy pocas capturas, *Thryothorus rufalbus* un total de 19 y *Thamnophilus doliatus* solamente siete individuos.

Con respecto al experimento con radiotransmisores, se recolectó información de 10 individuos de *Thryothorus rufalbus*. Los tiempos de seguimiento variaron de tres a 10 días y las pruebas de fidelidad de sitio resultaron significativas para siete de los 10 individuos, rechazándose la hipótesis de que los movimientos de los individuos eran azarosos y aceptando que los movimientos de estos eran fieles a su área de acción. Sin embargo, a pesar de que se recomienda que exista fidelidad de sitio para la construcción de los ámbitos de hogar, basados en que estos movimientos se definen como el área en donde los individuos se movilizan para realizar satisfactoriamente sus necesidades diarias (Burt 1943), todos los mapas fueron construidos y para ilustrar las áreas en las que las aves se movilizaron durante los seguimientos (Figura 1 y Cuadro 1).

Individuo 1



Individuo 2



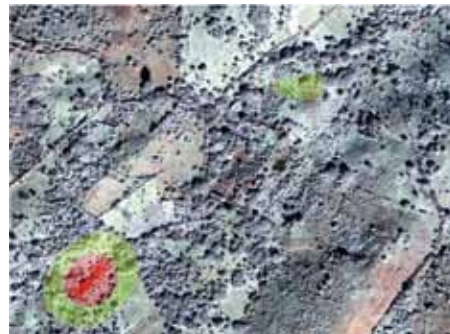
Individuo 3



Individuo 4



Individuo 5



Individuo 6

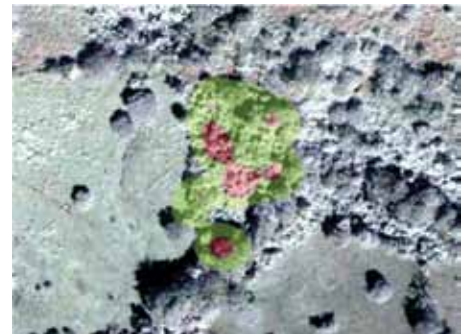


Figura 1. Mapas de ámbitos de hogar (home range) construidos con los métodos fixed de Kernel y el MCP. Individuos del uno al cuatro y del seis al diez a escala 1:4.000, individuo cinco a escala 1:16.000. Individuos monitoreados en parches aislados y conectados dentro del paisaje fragmentado de Matiguás, Nicaragua.

HR = home range (ámbito de hogar)

Cuadro 1. Áreas de los ámbitos de hogar de individuos de *Thryothorus rufalbus* en parches conectados y aislados calculados a través de los métodos *fixed* de Kernel y el MCP, en el paisaje fragmentado de Matiguás, Nicaragua

Individuo	ID parche	KERNEL		MCP
		Probabilidades		Área total
		95	50	ha
1	PARAIS4	0,52	0,10	0,62
2	PARAIS4	1,57	0,26	1,83
3	PARCON1	0,33	0,03	0,36
4	PARAIS5	0,81	0,08	0,89
5*	PARCON3	4,72	1,75	6,47
6	PARAIS1	0,68	0,14	0,82
7	PARAIS1	0,78	0,12	0,90
8*	PARCON2	0,85	0,26	1,11
9	PARCON2	0,40	0,06	0,46
10*	PARAIS2	1,58	0,54	2,12
		Área promedio		1,56
				2,58

*Individuos cuya prueba de fidelidad resultó no significativa, indicando que los movimientos de estos individuos no difirieron del azar.

PARAIS = parches aislados

PARCON = parches conectados

En los ámbitos de hogar construidos con el método *fixed* de Kernel las áreas de color verde corresponden a las áreas con probabilidades de un 95% y las de color rojo corresponden a las áreas núcleo de actividad de los individuos con probabilidad asociada de un 50% (Figura 1). Para el caso del método MCP los polígonos que se muestran encerrando las nubes de puntos corresponden a las áreas calculadas con ámbitos de hogar (Figura 1).

De los individuos que mostraron fidelidad de sitio el número dos obtuvo la mayor área con un total de 1,83 ha con el método *fixed* de Kernel y 2,45 ha con el método MCP. En general, todos los ámbitos de hogar construidos con el método MCP fueron mayores en área que aquellos construidos con el método de Kernel, aunque las diferencias entre medias no fueron estadísticamente significativas ($t = -0,84$, $p < 0,0001$). El análisis de correlación resultó significativo con una $R = 0,97$.

Por otra parte, se realizaron 1.322 localizaciones de individuos de *Thryothorus rufalbus* con radiotransmisores, distribuidas en 65 días de monitoreo entre junio y agosto de 2006. El esfuerzo total de muestreo equivale a 440,6 horas. Las localizaciones por parches variaron de 60 a 317 debido a la pérdida de radiotransmisores, producto de problemas con los métodos de adhesión que se vieron exacerbados por el comportamiento de la especie. Durante el transcurso de esta investigación se

encontraron diferencias entre lo reflejado por el mapa de uso de suelo y la realidad, por lo que se compararon las observaciones realizadas en campo con respecto al mapa. Esta comparación mostró diferencias significativas entre lo observado en el campo y lo representado.

En general, al hacer las comparaciones existe un mayor número de hábitats (siete *versus* cuatro), que de acuerdo al mapa de uso de suelo estaría utilizando la especie en estudio, sin embargo, esto no se apega a la realidad de las observaciones. Durante los seguimientos las aves de la especie *Thryothorus rufalbus* fueron observadas únicamente en hábitats de bosque, charrales, corredores ribereños y potreros con alta cobertura y al hacer las comparaciones se encontraron diferencias significativas ($p < 0,0001$), con respecto a la frecuencia de observaciones. Con el propósito de evaluar si las áreas de los ámbitos de hogar de los individuos de *Thryothorus rufalbus* dependieron del número de localizaciones se creó un diagrama de dispersión con las localizaciones y las áreas calculadas para cada individuo en los diferentes parches. El diagrama muestra que el área de los ámbitos de hogar de las aves monitoreadas no dependió del número de localizaciones obtenidas para cada uno de ellos. Esto es importante dada la dificultad de monitorear los diferentes parches homogéneamente, lo cual generó diferencias en los esfuerzos de muestreo de individuo por parche.

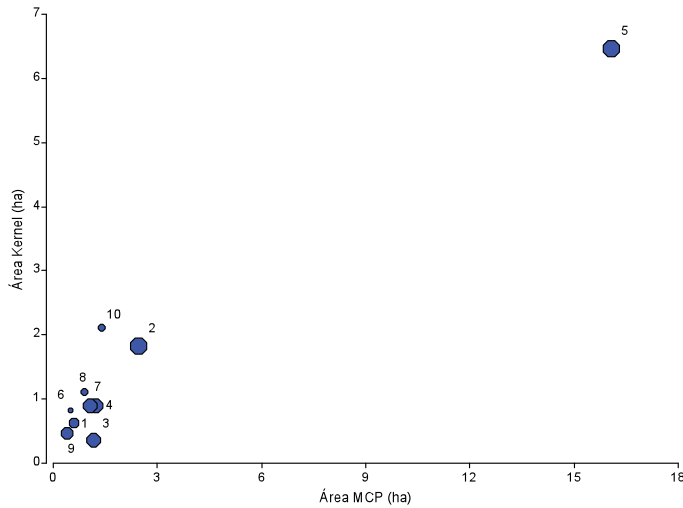


Figura 2. Análisis de asociación mediante un diagrama de dispersión, comparando el área (m²) calculada por los métodos *fixed* de Kernel y MCP, con respecto al número de localizaciones por individuo. El tamaño del símbolo es proporcional al número de localizaciones por individuo y el número a la par identifica a cada uno de los individuos monitoreados.

En la Figura 2 se encuentran los diferentes individuos monitoreados y las áreas calculadas por cada uno de los métodos de ámbitos de hogar, nótese que el individuo cinco es el único que se encuentra alejado del resto. Este caso en particular se convierte en un *outlier*, dado que su área se vio ampliada debido al proceso de dispersión en el que se encontraba al momento de los seguimientos, caso contrario se presentó con el resto de los individuos quienes mostraron territorios ya establecidos y ámbitos de hogar definidos. Las áreas de los ámbitos de hogar no dependieron del número de localizaciones, dando esto lugar a las comparaciones entre las áreas de los individuos en parches aislados y parches conectados.

La Prueba T Pareada aplicada no mostró diferencias significativas con respecto a las áreas de los individuos muestreados en parches aislados y parches conectados ($t = -1,06$; $p = 0,3170$).

Para la validación de la propuesta de conectividad estructural se utilizaron todas las localizaciones de las especies focales recolectadas a través de los diferentes métodos. La especie *Thryothorus rufalbus* fue la que obtuvo el mayor número de localizaciones (90% del total), esto como resultado del experimento con radiotelemetría (Cuadro 2).

Cuadro 2. Resumen de las localizaciones de individuos de las tres especies focales por medio de diferentes métodos de muestreo en el paisaje fragmentado de Matiguás, Nicaragua

Método	Especie focal			Total
	<i>T. rufalbus</i>	<i>C. linearis</i>	<i>T. doliatus</i>	
Radio-telemetría	1.322	----	----	1.322
Capturas con redes	19	88	7	114
Transectos	6	7	4	17
Búsquedas intensivas	33	36	10	79
Totales	1.380	131	21	1.532

El hábitat que registró el mayor número de localizaciones fue el bosque, que también posee el valor de fricción más bajo. Las observaciones realizadas en parches de bosque comprenden el 81% del total. Los hábitats charrales y tacotales abarcan un total del 15% de las observaciones. Conjuntamente, estos tres tipos de hábitat incluyen el 96% de todas las observaciones de las especies focales (Cuadro 3).

Cuadro 3. Resultados tablas de frecuencia

Especie	Hábitat (valor de fricción)										Totales
	Bosque (1)		Charrales y tacotales (2)		Cercas vivas (3)		Potreros con árboles (6)		Potreros abiertos (9)		
	FA	FR	FA	FR	FA	FR	FA	FR	FA	FR	
<i>C. linearis</i>	124	0,95	0	0	4	0,03	2	0,02	1	0,01	131
<i>T. doliatus</i>	17	0,81	0	0	3	0,14	1	0,05	0	0	21
<i>T. rufalbus</i>	1.103	0,80	240	0,17	6	0,004	31	0,02	0	0	1.380
Totales	1.244		240		13		34		1		1.532

Valores de fricción tomados de Useche (2006).

FA = frecuencias acumuladas

FR = frecuencias relativas

Individuos observados en el paisaje fragmentado de Matiguás, Nicaragua.



La autora en el campo con su equipo de radiotelemedría. Foto: BNPP

Los hábitats, tales como, los corredores ribereños, los mosaicos, los sistemas agroforestales, los monocultivos, las áreas urbanas, los cuerpos de agua y nubes y las sombras que agrupan el resto de los valores de fricción utilizados no incluyen ninguna observación de las especies focales, lo que refuerza la definición de estas como dependientes del bosque y amplía la interrogante sobre la funcionalidad de este paisaje para estas especies.

En general, se puede observar que los individuos de *Thryothorus rufalbus* monitoreados poseen ámbitos de hogar relativamente pequeños, en comparación con la disponibilidad de áreas con vegetación dentro de los parches evaluados, probablemente como consecuencia de su elevada territorialidad y de la presencia de otros individuos machos dentro de los mismos parches de bosque, sumado al efecto que la época reproductiva pudo tener sobre el comportamiento de estos individuos. Por otro lado, las áreas de los ámbitos de hogar calculadas con los métodos de Kernel (*fixed*) y MCP no difirieron significativamente, pudiéndose utilizar ambos métodos indistintamente para obtener resultados similares.

CONCLUSIONES

Con base en las observaciones de las especies focales por medio de los diferentes tipos de monitoreo (capturas con redes, búsquedas intensivas, recorrido de transectos y radio-telemedría), se concluye que las especies seleccionadas para este estudio (*Chiroxiphia linearis*, *Thryothorus rufalbus* y *Thamnophilus doliatus*), descritas por Stiles (1983) como dependientes del bosque, realmente se apegan a esta definición ya que un gran porcentaje de las observaciones de estas especies estuvo asociado a la existencia de cierta cobertura arbórea, evitando las áreas abiertas y desprovistas de vegetación como los potreros abiertos.

El movimiento de dos hembras pertenecientes a las especies focales *Chiroxiphia linearis* y *Thryothorus rufalbus* sugieren la existencia de conectividad funcional dentro del paisaje fragmentado de Matiguás. Sin embargo, aún se necesita de mayores estudios para determinar el tipo de conexiones estructurales que están utilizando para desplazarse dentro del paisaje. Reconocer la importancia de los movimientos de estas especies es fundamental

para el establecimiento de planes de conservación que integren las áreas productivas. El conocimiento sobre los tipos de hábitat (bosque, charrales y tacotales, cercas vivas y potreros con árboles) que están proveyendo a las aves de conectividad funcional dentro de estas áreas es esencial para garantizar la permanencia de estas especies en este tipo de paisaje productivo.

Por último, es importante resaltar que las observaciones realizadas de las especies focales se apegan a los valores mínimos de fricción utilizados para la creación de la propuesta de conectividad estructural dentro del paisaje fragmentado de Matiguás.

Se recomienda para la elaboración de los mapas con base en imágenes digitales usar una escala de digitalización acorde con las necesidades de la investigación, de tal manera que puedan obtenerse detalles congruentes con la realidad. La calidad de las herramientas a utilizar depende muchas veces del presupuesto destinado para la investigación. Sin embargo, es muy importante contar con elementos actualizados debido a lo variable que pueden ser estos paisajes en periodos muy cortos de tiempo. Igualmente, se recomienda realizar un estudio similar con especies dependientes del bosque fuera de sus épocas reproductivas, evitando así el efecto de la defensa activa de los territorios de reproducción que puede estar generando sesgos al evaluar la movilidad y los ámbitos de hogar de estos individuos.

Por otro lado, dada la dificultad para monitorear el movimiento de muchas especies de aves es importante que para llevar a cabo estudios exitosos se realice una combinación de técnicas que incrementen la probabilidad de observación de los individuos bajo monitoreo.

Además, es primordial realizar estudios que relacionen el uso de hábitat de las especies y la disponibilidad de hábitat en estos paisajes fragmentados, especialmente importante para el caso de especies dependientes del bosque. De igual forma, la inclusión de estudios relacionados con la viabilidad de estas poblaciones podrá generar mayores elementos para el manejo de estas áreas, considerando la conservación de las especies analizadas. También, se recomienda realizar mayores estudios sobre los elementos del paisaje que están proveyendo de conectividad funcional a especies dependientes del bosque (parches de bosque, charrales y tacotales, cercas vivas y potreros con árboles), tenemos evidencia que sugiere que existe ésta conectividad. Sin embargo, aún no está claro cuales elementos dentro

del paisaje, además de los charrales, están facilitando el movimiento de las diferentes especies.

Finalmente, se recomienda la implementación de sistemas silvopastoriles, tales como potreros con árboles dispersos y cercas vivas multi estrato, los cuales han probado ser elementos fundamentales para incrementar la conectividad estructural y por lo tanto pueden estar contribuyendo considerablemente a la conectividad funcional provista por este paisaje para especies dependientes del bosque.

BIBLIOGRAFÍA CITADA

- Bennett, A. 2004. Enlazando el paisaje: el papel de corredores y la conectividad en la conservación de la vida silvestre. Trad. JM Blanch. San José, CR. UICN. 1278 p.
- Bierregaard, RO Jr; Lovejoy, TE; Kapos, V; dos Santos, AA; Hutchings, RW. 1992. The biological dynamics of tropical rainforest fragments. *BioScience* 42(11):859-866.
- Burt, W. 1943. Territoriality and home range concepts as applied to mammals. *Journal of Mammalogy* 24:346-352.
- Castellón, T; Sieving, K. 2006. An experimental test of matrix permeability and corridor use by an endemic understory bird. *Conservation Biology* 20 (1):135-145.
- Cerrud, H. 2005. Efecto del pago por servicios ambientales y otras variables socioeconómicas en la adopción de usos de suelo amigables con el ambiente en zonas ganaderas de Esparza, Costa Rica y Matiguás, Nicaragua. Tesis Mag. Sc. Turrialba, CR, CATIE. 167 p.
- Clergeau, P; Burel, F. 1997. The role of spatio-temporal patch connectivity at the landscape level: an example in a bird distribution. *Landscape and Urban Planning* 38:37-43.
- Corlatti, L; Hackländer, K; Frey-Roos, F. 2009. Ability of wildlife overpasses to provide connectivity and prevent genetic isolation. *Conservation Biology* 23(3):548-556.
- Coulon, A; Cosson, JF; Angibault, JM; Cargnelutti, B; Galan, M; Morellet, N; Petit, E; Aulagnier, S; Hewison, JM. 2004. Landscape connectivity influences gene flow in a roe deer population inhabiting a fragmented landscape: an individual-based approach. *Molecular Ecology* 12:2841-2850.
- DeFries, R; Hansen, A; Newton, A; Hansen, M. 2005. Increasing isolation of protected areas in tropical forests over the past twenty years. *Ecological Applications* 15(1):19-26.
- Dunning, JB; Danielson, JB; Pulliam, HR. 1992. Ecological processes that affect populations in complex landscapes. *Oikos* 65:169-175.
- Harvey, C; Villanueva, C; Villacis, J; Chacón, M; Muñoz, D; López, M; Ibrahim, M; Gómez, R; Taylor, R; Martínez, J; Navas, A; Sáenz, J; Sánchez, D; Medina, A; Vilchez, S; Hernández, B; Pérez, A; Ruiz, F; López, F; Lang, I; Kunth, S; Sinclair, F. 2003. Contribución de las cercas vivas a la productividad e integridad ecológica de los paisajes agrícolas en América Central. *Agroforestería en las Américas* 10(39-40):30-39.
- Holdridge, L. 2000. *Ecología basada en zonas de vida*. Servicio editorial e imprenta del IICA. Quinta reimpresión. San José, Costa Rica. Instituto Interamericano de Cooperación para la Agricultura. 216 p.

- INAFOR (Instituto Nacional Forestal). Frontera agrícola. Dirección de Fomento Forestal- INAFOR. Managua, Nicaragua. 15 p.
- INETER (Instituto Nicaragüense de Estudios Territoriales). NI. 2006. División político-administrativa de Nicaragua (en línea). Managua, NI. Consultado 21 nov. 2006. Disponible en <http://www.ineter.gob.ni/caracterizaciongeografica/capitulo6.html>
- MAGFOR (Ministerio de Agricultura, Ganadería y Forestal). 2001. Información cartográfica. MAGFOR. NI.
- Meyrat, A. 2000. Los ecosistemas y formaciones vegetales de Nicaragua. Protierra/MARENA/CBA. Managua, Nicaragua. 30 p.
- Morales, JM; Ellner, SP. 2002. Scaling up animal movements in heterogeneous landscapes: the importance of behavior. *Ecology* 83(8):2240-2247.
- Morrison, SA; Boyce, WM. 2008. Conserving connectivity: some lessons from mountain lions in Southern California. *Conservation Biology* 23(2):275-285.
- Raim, A. 1978. A radio transmitter attachment for small passerine birds. *Bird Banding* Autumn 326-332.
- Ramírez, L. 2006. Contribución ecológica y cultural de los sistemas silvopastoriles para la conservación de la biodiversidad en Matiguás, Nicaragua. Tesis Mag. Sc. Turrialba, CR, CATIE. 175 p.
- Rappole, J; Tipton, A. 1991. New harness design for attachment of radio-transmitters to small passerines. *Journal of Field Ornithology* 62(3):335-337.
- Ricketts, TH. 2001. The matrix matters: effective isolation in fragmented landscapes. *The American Naturalist* 158(1):87-99.
- Schumaker, N. 1996. Using landscape indices to predict habitat connectivity. *Ecology* 77(4):1210-1225.
- Sieving, K; Willson, M; DeSanto, T. 2000. Defining corridor functions for endemic birds in fragmented south-temperate rainforest. *Conservation Biology* 14(4):1120-1132.
- Spencer, S; Cameron, G; Swihart, R. 1990. Operationally defining home range: temporal dependence exhibited by hipad cotton rats. *Ecology* 71:1817-1822.
- Stevens, V; Polus, E; Wesselingh, R; Shtickzelle, N; Baguette, M. 2004. Quantifying functional connectivity: experimental evidence for patch-specific resistance in the Natterjack toad (*Bufo calamita*). *Landscape Ecology* 19:829-842
- Stiles, G. 1983. Costa Rican Natural History. (ed). D. Janzen. USA. University of Chicago Press. 823 p.
- Stouffer, PC; Borges, S. 2001. Conservation recommendations for understory birds in Amazonian forest fragments and second-growth areas. In Bierregaard, Jr. RO; Gascon, C.; Lovejoy, TE and Mesquita, R. (eds). *Lessons from Amazonia: The ecology and conservation of a fragmented forest*. Sheridan Books; Michigan, USA. pp. 248-261.
- Taylor, PD; Fahrig, L; Henein, K; Merriam, G. 1993. Connectivity is a vital element of landscape structure. *Oikos* 68:571-573.
- TELONICS (Telemetry Electronics Consultants). USA. 2006. Wildlife Tracking (en línea). Impala, USA. Consultado 12 nov. 2006. Disponible en <http://www.telonics.com/wildlife.php>
- Useche, C. 2006. Diseño de redes ecológicas de conectividad para la conservación y restauración del paisaje en Nicaragua, Centroamérica. Tesis Mag. Sc. Turrialba, CR, CATIE. 233 p.
- USGS (United States Geological Survey). USA. 1998. Manual of animal movement (en línea). Alaska, USA. Consultado 08 nov. 2006. Disponible en http://www.absc.usgs.gov/glba/gistools/animal_mvmt.htm