

Desarrollo de modelos basados en especies para la evaluación de la biodiversidad en un paisaje agrícola de Nicaragua

A. Mijail Pérez¹ (E mail: mijail@ibw.com.ni, mijail64@gmail.com, Marlon Sotelo¹, Isabel Siria¹, Rob Alkemade² & Lenin Aburto¹ • ¹Asociación Gaia, Managua, Nicaragua, ²MNP, Holanda.

Key words: Agricultural landscape, beta diversity, forest dependence, species niche, models, birds, mollusks, trees, Nicaragua.

Resumen

Un importante efecto de la ganadería en Nicaragua ha sido la fragmentación de los paisajes naturales, principalmente bosques. En la región central, así como en otras partes del país, los paisajes fragmentados se originaron principalmente como un efecto directo de la deforestación para explotar los recursos forestales locales y crear nuevas áreas para la agricultura y la ganadería. Aquí, presentamos los resultados de diversos análisis realizados, en su mayoría basados en la información de Pérez et al. (2006) con respecto a un año de seguimiento a la composición de las especies y la estructura de la comunidad de aves, moluscos y árboles a comunidades silvopastoriles de los sistemas de Matiguás y Paiwas, Dpto. de Matagalpa. Nuestras principales conclusiones son las siguientes. Usos de la tierra muestran un bajo número de especies estrictamente asociados a ellos, pero esos pueden ser muy importantes en la formulación de políticas. Usos de la tierra con mayor número de aves son exclusivos de los bosques ribereños y bosques primarios del área protegida Quirragua con seis especies, el uso de la tierra tipo con mayor número de especies de moluscos es de bosque primario. Quirragua área protegida con siete especies. Diversidad beta podría ser también considerado mediano. Esto significa que existen algunas especies exclusivas a determinados tipos de uso de la tierra, pero muchas especies son compartidas entre los tipos de uso de la tierra, dando como resultado un volumen de negocios de mediano y una tasa media a alta diversidad beta.

Un análisis realizado con el fin de evaluar los bosques dependientes se llevó a cabo utilizando STILES y Skutch (1998) la dependencia de los bosques categorías. Con estos criterios hemos observado 26 aves que dependen de los bosques de especies (12,3%), 56,13% de las especies generalistas (119) y el 31,6% de las especies de zonas abiertas (67). En moluscos se encontraron 33 que dependen de los bosques de especies de un 59% del total, 20 especies generalistas que representa el 35,7% de las especies presentes y tres (3) especies de áreas abiertas. En cuanto a la estructura de la vegetación, se han encontrado importantes y muy significativas las correlaciones entre los diferentes pares de variables. Una muy significativa correlación ($r = 0,88$, $p < 0,01$) se encontró entre la diversidad de especies vegetales y la diversidad estructural (follaje complejidad), además, un importante y una muy significativa correlación ($r = 0,655$, $p < 0,05$, $r = 0,7$, $p < 0,01$) se encontraron entre el follaje y la diversidad estructural de la diversidad de las especies de moluscos y la riqueza de especies de moluscos. En cuanto a la riqueza de especies de aves, que no han encontrado importantes relaciones con la mayoría de las demás variables.

Abstract

An important effect of cattle raising in Nicaragua has been fragmentation of natural landscapes, mainly forests. On the central region as well as in other parts of the country, fragmented landscapes have originated mostly as a direct effect of deforestation made to explode local forest resources and create new areas for agriculture and cattle raising. Here, we present results of various analyses made, mostly based on information from PÉREZ et al. (2006) regarding one year of monitoring species composition and community structure on birds, mollusks and trees communities from silvi-pastoral systems of Matiguás and Paiwas, Dpt. of Matagalpa. Our main conclusions are as follows. Land uses show a low number of species strictly associated to them but those might be very important in policy-making. Land uses with highest number of exclusive birds are Riparian Forests and Primary Forest of Quirragua protected area with six species; Land use type with highest number of mollusk species is Primary Forest of Quirragua protected area with seven species. Beta diversity could be as well considered medium. It means that there are some species exclusive to particular land use types but many species are shared among land use types, given as a result a medium turnover rate and a medium to high Beta diversity.

An analysis made in order to assess forest dependence was conducted utilizing STILES & SKUTCH (1998) forest dependence categories. With those criteria we observed 26 bird forest-dependent species (12.3 %), 56.13 % of generalist species (119) and 31.6 % of open areas species (67). On mollusks we found 33 forest-dependent species for a 59 % of the total, 20 generalist species representing 35.7 % of the species present and three (3) open areas species. Regarding vegetation structure, there has been found significant and very significant correlations amongst various variables pairs. A very significant correlation ($r= 0.88$, $p < 0.01$) was found between plant species diversity and structural diversity (foliage complexity), besides, a significant and a very significant correlation ($r= 0.655$, $p < 0.05$, $r= 0.7$, $p < 0.01$) were found amongst foliage structural diversity and molluscs species diversity and molluscs species richness. As for bird species richness, we have found non significant relationships with most other variables.

■ Introducción

Un importante efecto del desarrollo de la ganadería en Nicaragua ha sido la fragmentación de los paisajes naturales, principalmente los bosques. En la región central así como en otras partes del país, los paisajes fragmentados se han originado principalmente como un efecto directo de la deforestación realizada para explotar los recursos forestales locales y crear nuevas áreas para la agricultura y la ganadería (LEVARD et al. 2001, RUÍZ, 2003). Los impactos negativos de la deforestación han afectado, entre otros, la dispersión, migración, competencia y extinción natural de las especies, todos ellos con una gran influencia en la biodiversidad en el nivel de paisajes (WILCOX, 1980; HARRIS, 1984).

En el presente artículo se presentan resultados de varios análisis realizados, mayormente basados en datos de PÉREZ et al. (2006) sobre monitoreo de la composición y estructura de las comunidades de aves, moluscos y árboles en sistemas silvopastoriles de Martiguas y Paiwas, Dpto de Matagalpa, Nicaragua. Todo ello nos permitió generar modelos para el establecimiento posterior de estrategias de manejo y prioridades de conservación en el nivel de municipios y en el nivel nacional, así como el fortalecimiento de la importancia de los sistemas silvopastoriles como reservorios de biodiversidad fuera de áreas protegidas.

Los grupos estudiados fueron seleccionados con el propósito de comparar datos en grupos biológicos con comportamientos muy diferentes, invertebrados muy poco vágiles (moluscos), vertebrados muy vágiles (aves) y árboles (sésiles).

También se realizó un análisis de la beta diversidad así como un análisis de asociación entre especies y tipos de usos de suelo.

■ Materiales y Métodos

Área de estudio: Se encuentra ubicada dentro del triángulo que conforman las Reservas Naturales, Sierra Quirragua, Cerro Musún y Fila Masigüe al sur (Fig. 3). Está compuesta por la comarca de Bulbul, perteneciente al Municipio de Matiguás, que se encuentra en las coordenadas UTM 670165 E, 1417108 N y tiene una extensión de 1,335 km² y una población de 38,584 habitantes de los cuales el 81 % vive en áreas rurales (INEC, 1995; LEVARD et al. (2001), así como por la comarca de Paiwas, perteneciente al Municipio de Río Blanco, que se encuentra en las coordenadas UTM 686152 E, 1424706 N, y tiene una extensión de 700 km² y una población de 33195 habitantes de los cuales 23,950 (72,15 %) vive en áreas rurales (INIFOM, 2004); ambos pertenecientes al Departamento de Matagalpa.

Selección de las fincas y usos de suelo: Fueron escogidos 12 usos del suelo: pastura natural con alta densidad de árboles (PNADA), Pastura natural con baja densidad de árboles (PNBDA), Pastura mejorada con alta densidad de árboles (PMADA), Pastura mejorada con baja densidad de árboles (PMBDA), Pasturas sin árboles (PNSA), Banco forrajero de leñosas (BFL), Cercas vivas (CV), Tacotales (TAC), Bosque ripario (BR), Bosque secundario intervenido (BSI), Bosque secundario sin intervenir (BS), Bosque primario (BP), Bosque Primario Quirragua (BPQ=BPP). Se seleccionaron fincas con la mayor cantidad de usos de suelo posible y de ese primer grupo se realizó una segunda selección de aquellas fincas en las que los usos del suelo existentes tuviesen un área mayor que 0.7 ha. Los dos primeros niveles de selección fueron no aleatorios e intencionales.

En cada uso del suelo se hicieron 10 parcelas siempre que fue posible, teniendo en cuenta la regla de 10 (GOTELLI Y ELLISON, 2004), y en ellas se muestreó la vegetación y las aves. Se evitó hacer repeticiones de un mismo tipo de

uso en una finca particular, por lo que, si existió la posibilidad de tener un mismo tipo de hábitat en la finca repetido más de una vez, la parcela a evaluar se escogió al azar. El centro de las parcelas de muestreo se ubicó aproximadamente en el centro del uso del suelo con lo que se espera haber minimizado el efecto de borde en la misma. Igualmente, el centro de la parcela de observación de aves coincide con el centro de la parcela de evaluación de vegetación.

■ Muestreos

Vegetación: Para el estudio de la vegetación se realizaron parcelas de 20 x 20 m (400 m²) (Fig.2) según la metodología propuesta por CHIPLEY et al. (2003a), en las que se identificó y contó el número de árboles. Una planta se consideró un árbol cuando tenía más de 10 cm DAP. Para la identificación se utilizaron las obras de SALAS (1993) y de POVEDA & SÁNCHEZ-VINDAS (1999), así como MOGOT (on line).

Para estudiar la estructura de la vegetación se utilizó un método propuesto por CHIPLEY et al. (2003).

Los parámetros estructurales medidos fueron los siguientes:

- Densidad de arbustos,
- Perfiles de altura del follaje,
- Altura promedio del dosel,
- Cobertura del dosel, y
- Cobertura del suelo; todo ello haciendo un recorrido a lo largo de una cuerda en forma de cruz, dividida en 4 brazos y con 5 puntos en cada brazo. Un árbol fue considerado cuando tuvo más de 3 cm de DAP (Fig.1)

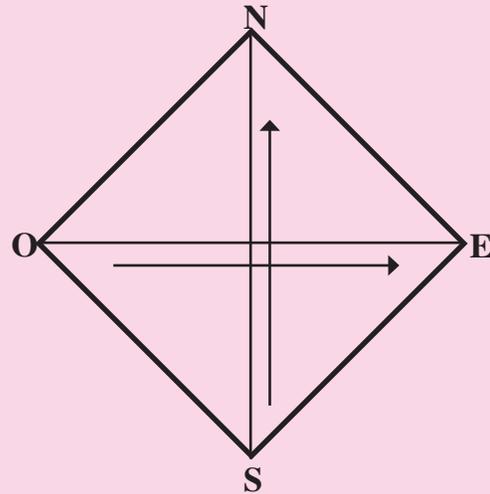


Fig. 1.- Parcela de monitoreo de la estructura de la vegetación.

En el caso de las cercas vivas, la parcela fue un segmento lineal de 200 m con un ancho de 2 m (0,04 ha). En el caso de la vegetación los datos fueron recogidos entre Diciembre del 2003 y Febrero del 2004.

Aves: Para el estudio estructural de las aves se realizaron muestreos en las fincas seleccionadas. Los observadores realizaron los muestreos entre 6 y 10 de la mañana. Las observaciones se realizaron en puntos de conteo de 25 metros de radio durante 10 minutos en cada una de las parcelas seleccionadas, haciendo la observación desde el centro de la parcela (WUNDERLE, 1994). Cada vez que se llegó a un punto de conteo se dejó pasar 5 minutos, con el fin que las aves se acostumbrasen a nuestra presencia. Para la identificación y los datos generales de las aves se utilizaron las guías de HOWELL & WEBB (1995), STILES & SKUTCH (1998) y AOU (1998).

Moluscos: Se muestreó en el 50 % de las parcelas definidas para el muestreo de la estructura de la vegetación y aves debido a las dificultades en la dinámica de trabajo en este grupo, mucho más lenta que en los otros grupos estudiados. El muestreo se efectuó mediante el levantamiento de piedras, revisión ocular de la hojarasca y/o

el mantillo, cortezas y oquedades de árboles, troncos, etc. La recolecta se realizó como habitualmente para este grupo (ALTONAGA, 1988). Para el estudio de los moluscos se realizaron dos campañas de muestreo, la primera entre Marzo y Mayo del 2004 y la segunda entre Julio y Septiembre del citado año.

Nomenclatura: Para la nomenclatura de las especies citadas se utilizaron las siguientes obras. Vegetación: SALAS (1993), Aves: MARTÍNEZ (2000), Moluscos: PÉREZ & LÓPEZ (2002).

■ Análisis de los datos

Especies asociadas a usos específicos del suelo: Se realizó un análisis mediante filtraje de la información de base de cara a detectar las especies únicas por usos de suelo.

Dependencia del bosque:

Se realizó un análisis del hábitat utilizando las categorías de dependencia del bosque propuestas por STILES & SKUTCH (1998), que son las siguientes:

- 3: Baja dependencia (Áreas abiertas)
- 3-2 (2.5): Media a baja.
- 2: Media (Generalista).
- 2-1 (1.5): Media a alta.
- 1: Alta dependencia (Bosques).

Diversidad beta: Se calcularon los índices de Jaccard y Morisita Horn para evaluar la diversidad beta entre tipos de usos de suelo. También se hizo un análisis de clasificación utilizando el índice de Jaccard y la estrategia de ligamiento simple. Para esto se utilizó el programa Estimates (COLWELL, 2004).

Relaciones estructurales: Se realizaron análisis de correlación divariada entre la riqueza de especies de los tres grupos estudiados y la diversidad de los tres grupos de bioindicadores,

así como de la diversidad de los perfiles medidos en la vegetación (antes explicados), según SOKAL & ROHLF (1981) para detectar la existencia de diferencias entre los mismos. Para calcular la diversidad se utilizó el índice de SHANNON-WEAVER (1949), cuya expresión es la siguiente:

$$H' = \frac{S}{\sum_{i=1}^S (p_i \ln p_i)}$$

S = cantidad de especies de la muestra.

$p_i = n_i / n$

n_i = no. de individuos que pertenecen a la i th de las especies en la muestra.

En el caso de los perfiles de vegetación la frecuencia de toques de cada categoría de altura fue considerada un sumando de la sumatoria en que consiste el citado índice. La suma total de todas las categorías de frecuencia jugó el papel de la abundancia total comunitaria. Todos los cálculos fueron realizados con el Programa SPSS.

Análisis General: Para las aves y los moluscos, se agruparon los conteos de los tres periodos para obtener un valor único de la riqueza para uso del suelo, bajo el supuesto de que los tres periodos cubren un ciclo anual. El grado de similitud entre los usos del suelo y las especies asociadas a un determinado uso del suelo se estimó mediante un Análisis de componentes principales y mediante un Análisis de escalonamiento multidimensional no métrico (NMDS, siglas en inglés de Non-metric Multidimensional Scaling), el cual mide el grado de disimilitud entre dos entidades, usando los programas SPSS y Past (RYAN et al. 1995). Para el análisis NMDS se usa el índice de similitud de Jaccard.

■ Resultado y Discusión

Especies asociadas a usos específicos de suelo.

Aves: Las aves exclusivas por usos se presentan en la Fig. 2. Los usos con un mayor número de aves exclusivas son el Bosque Primario del Área Protegida de Quirragua y los Bosques Riparios en los sistemas silvopastoriles. Bancos Forrajeros de Leñosas y las Cercas Vivas con dos especies respectivamente. Los usos con un menor número de aves exclusivas fueron los Bancos Forrajeros y las Pasturas Naturales con Baja Densidad de Árboles, ambos con una especie exclusiva.

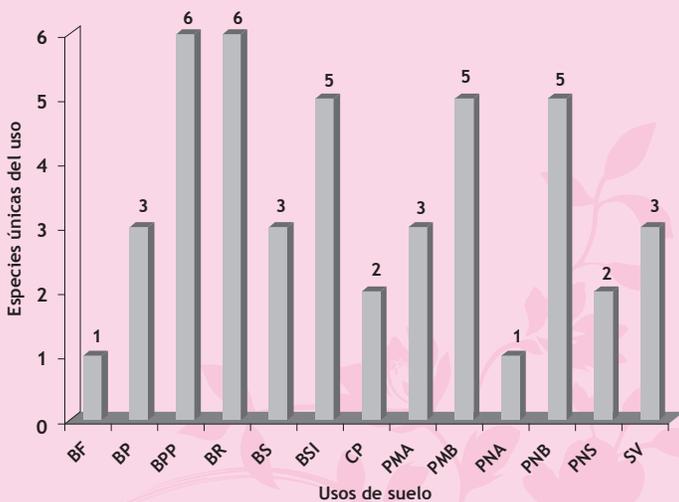


Fig. 2.- Especies de aves asociadas a los usos de suelo estudiados.

Moluscos: Los moluscos exclusivos por usos se presentan en la Fig. 3. El uso con un mayor número de moluscos exclusivos es el Bosque Primario del Área Protegida de Quirragua con siete especies, seguido de los Bosques Primarios de los sistemas silvopastoriles con tres especies. En los Bosques Secundarios Intervenido y las Pasturas no se encontraron especies exclusivas.

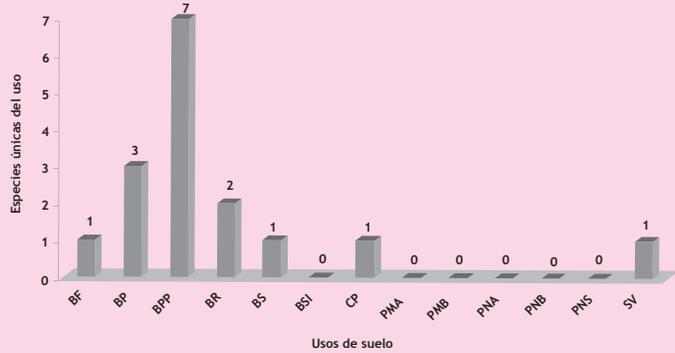


Fig. 3.- Especies de moluscos asociadas a los usos de suelo estudiados.

Dependencia del bosque

Aves: Para estudiar la dependencia del bosque se aplicó el sistema de categorías propuesto por STILES & SKUTCH (1998).

Los datos sobre dependencia del bosque se presentan en el Cuadro 3. La información recogida fue sintetizada en tres categorías de cara a su análisis: especies dependientes de bosque (1 y 1,2) denominadas con la letra B (Bosque), especies generalistas (2): G, y especies de áreas abiertas (2,3 y 3), denominadas con las letras AA.

Se observaron 26 especies (12.3%) dependientes del bosque, un 56.13% de especies generalistas (119) y un 31.6% de especies de áreas abiertas (67). Estos valores ya constituyen insumos directos para la formulación de políticas de conservación y otros aspectos de la toma de decisiones en el nivel local, de país y eventualmente en el nivel regional.

Moluscos: Para los moluscos realizamos el mismo tipo de análisis utilizando las categorías de dependencia del bosque propuestas por STILES & SKUTCH (1998). Los resultados obtenidos se presentan en el Cuadro 4. Siguiendo estos criterios encontramos 33 especies dependientes de bosques para un 59% del total, 20 especies generalistas que representan un 35.7% de las

especies presentes y tres (3) especies de áreas abiertas. Como puede notarse el número de especies asociadas a bosques es muy alto en este grupo sugiriendo que se trata de un buen indicador de conservación de bosques. Hay también un número importante de especies generalistas, así como un pequeño número de especies de áreas abiertas (3) que no suelen encontrarse en los usos de tipo boscoso.

Diversidad B o heterogeneidad entre usos de suelo

Aves: Los valores de los índices calculados muestran una similitud moderada por lo que la diversidad beta, también puede considerarse media, es decir, existen algunas especies exclusivamente relacionadas con ciertos usos de suelo pero muchas de ellas son especies compartidas por todos los usos por lo que el nivel de recambio es media.

Esto se visualiza mejor en el análisis de agrupamiento (Fig. 4), que se construyó utilizando el índice de Jaccard. El mismo muestra la formación de dos grupos, uno compuesto por las especies del Bosque Primario de Quirragua (BPP) y el otro por todas las comunidades estudiadas en los sistemas silvopastoriles. Dentro de estas últimas se puede observar a su vez la conformación de tres grupos; uno formado por las PNSA, el otro conformado por los usos boscosos y las Pasturas Mejoradas con Baja Densidad de Árboles y el tercero, conformado por los usos de Pasturas, Banco Forrajero de Leñosas, Tacotales y Cercas Vivas.

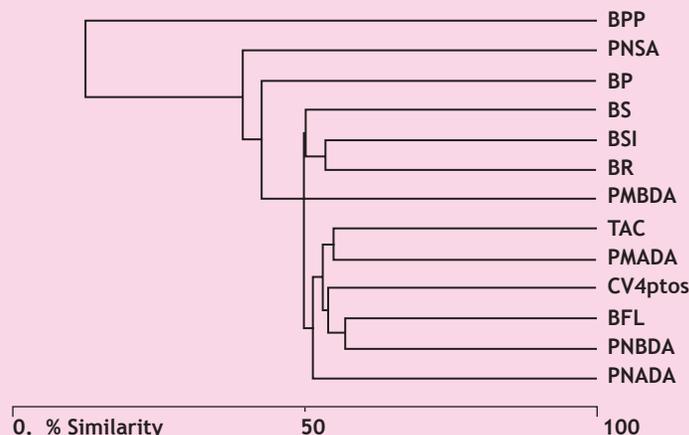


Fig. 4.- Dendrograma de similaridad entre tipos de usos de suelo considerando presencia y ausencia de especies de aves.

Moluscos: En el caso de los moluscos la similitud entre los usos es algo más baja, por lo que la diversidad beta es más alta.

El análisis de agrupamiento utilizando el índice de Jaccard (Fig. 5) también muestra la formación de dos grupos, uno formado por el Bosque Primario de Quirragua y otro por todos los usos en sistemas silvopastoriles. Dentro de los usos relacionados con sistemas se forman dos grupos más o menos definidos: uno compuesto por BSI, PMBDA, PNADA y Cercas Vivas y un segundo grupo compuesto por todos los otros usos.

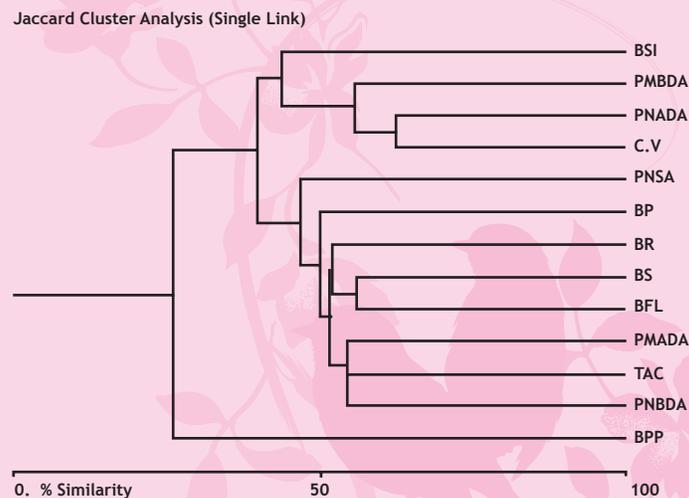


Fig. 5.- Dendrograma de similaridad entre tipos de usos de suelo considerando presencia y ausencia de especies de moluscos.

Árboles: Nuestros datos de árboles están fuertemente influenciados por el manejo, sin embargo nuestros resultados pueden arrojar luz sobre algunos otros aspectos además de la diversidad alfa y la riqueza de especies. Como un patrón constante en todos los grupos estudiados, la diversidad Beta entre los usos es alta.

El análisis de clasificación realizado utilizando el índice de similitud de Jaccard (Fig. 6), y considerando sólo vegetación arbórea muestra un patrón bastante complejo. Existen tres usos de suelo que se comportan como entidades independientes, las Pasturas sin Árboles, Bosques Primarios y el Bosque Primario del Área Protegida de Quirragua. La primera (Pasturas sin Árboles) probablemente más debido a la escasez de árboles en ese uso de suelo que la similitud con los otros dos usos. Los otros dos usos porque probablemente contienen un conjunto de especies que ya no existen en otros usos del suelo. Sin embargo un comportamiento similar es esperado para los Bosques Riparios también llamados Bosques de galería, ya que estos también son un uso de suelo primario.

El resto de los usos de suelo conforman dos grandes grupos, uno que abarca BFL, PMB, PMA, PNA, SV y PNB y otro que comprende BR, CP y BS.

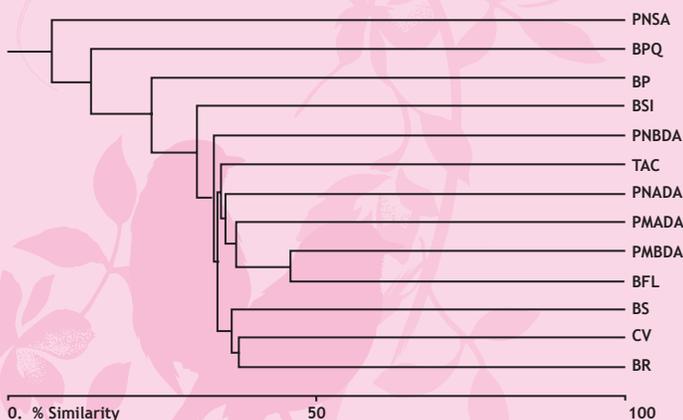


Fig. 6.- Dendrograma de similitud entre usos del suelo considerando la presencia o ausencia de especies de árboles.

Relaciones estructurales.

Se calcularon valores de diversidad estructural de la vegetación, de la diversidad ecológica y de riqueza de cada uno de los tres grupos taxonómicos estudiados para cada una de las parcelas estudiadas y se realizó una prueba de correlación de Pearson para determinar si existe una relación entre la heterogeneidad de la estructura de la vegetación con la diversidad y la riqueza de especies (Cuadro 1).

Los resultados indican que existe una correlación significativa entre la riqueza de especies de vegetación y la diversidad de aves ($r=0.7, p<0.05$), en cambio la relación entre la diversidad de aves y la diversidad ecológica de la vegetación y entre diversidad de aves con la diversidad estructural de la vegetación no es significativa; en el primer caso posiblemente porque hay muchas especies arbóreas con abundancias bajas y en el segundo caso posiblemente se deba a que hay muchos usos de pasturas donde hay baja diversidad estructural.

Por otra parte, se observó una correlación muy significativa entre la riqueza de especies arbóreas y la diversidad estructural ($r=0.874, P<0.01$) y entre la riqueza de especies arbóreas y la cobertura del dosel ($r=0.866, P<0.01$) (Cuadro 8), aumentando la diversidad estructural y la cobertura del dosel con el incremento de la riqueza de especies arbóreas.

Otro aspecto muy interesante es que se encontró una relación muy significativa entre la diversidad de la vegetación y la diversidad de moluscos ($r=0.751, p<0.05$) lo que posiblemente está relacionado más con la producción de hojarasca que compone el mantillo que con la diversidad de la vegetación en sí misma, aspecto que ya ha sido mencionado por PÉREZ et al. (2008).

Cuadro 1.- Matriz de correlación.

VARIABLES	VARIABLES										
	Sveg	Saves	Smol	Dveg.	Daves	Dmol.	Destr.	Cdosel	Csuelo	Darb.	Aarbol.
Sveg	1										
Saves	0.44ns	1									
Smol	0.398ns	-0.138, ns	1								
Dveg.	0.7(*)	-0.007, ns	0.85**	1							
Daves	0.7(*)	0.862**	0.046, ns	0.319, ns	1						
Dmol.	0.6ns	-0.193, ns	0.782**	0.751*	0.18, ns	1					
Destr.	0.874(**)	0.23, ns	0.655*	0.88**	0.545, ns	0.688**	1				
Cdosel	0.866(**)	0.285, ns	0.566, ns	0.77**	0.614*	0.630*	0.926**	1			
Csuelo	-0.688(*)	0.034, ns	-0.714*	0.869**	-0.231, ns	-0.747**	-0.821**	-0.676*	1		
Darb.	0.51ns	-0.113, ns	0.010, ns	0.278, ns	0.061, ns	0.287, ns	0.555, ns	0.405, ns	-0.494, ns	1	
Aarbol.	0.734(*)	-0.184, ns	0.53, ns	0.788**	0.244, ns	0.762**	0.826**	0.839**	-0.734*	0.531, ns	1

Análisis general

Como se puede observar en el Análisis de Componentes Principales realizado con base en la riqueza de especies entre usos de suelo y considerando los tres grupos estudiados (Fig. 7), existe una tendencia a formarse un grupo compuesto por los usos de tipo boscoso (BSI, TAC; BR, BS, BP y CV) quedando fuera de este grupo el Bosque Primario del área protegida de Quirragua. Los usos de pasturas conforman dos subgrupos algo alejados del grupo de los usos boscosos, lo cual está dentro de lo esperable.

En el análisis de escalamiento multidimensional (Fig. 8). que enfatiza las diferencias entre las entidades, se observa una nube de usos que consiste en un agrupamiento más o menos homogéneo que contiene los usos de pasturas y ligeramente separados los usos boscosos (SV, BR, BSI y BS). Más lejos de esta nube se presenta el Bosque Primario de los sistemas silvopastoriles y por último, y totalmente aislado, el Bosque Primario del área protegida de Quirragua.

Fig. 7.- Análisis de Componentes Principales entre los usos de suelo considerando la riqueza de especies de los tres grupos estudiados. Componentes 1, 2 y 3.

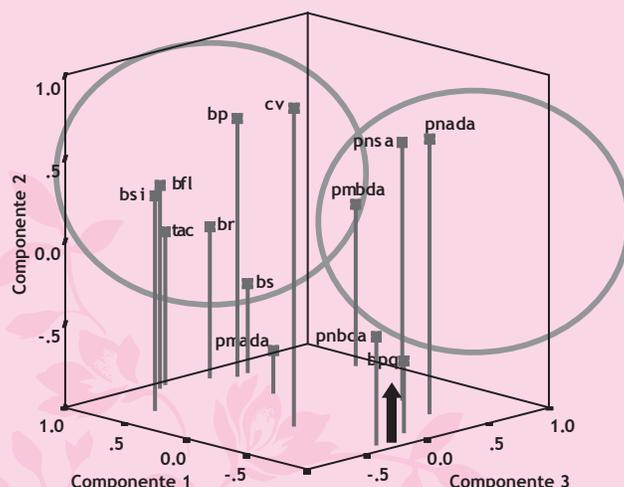
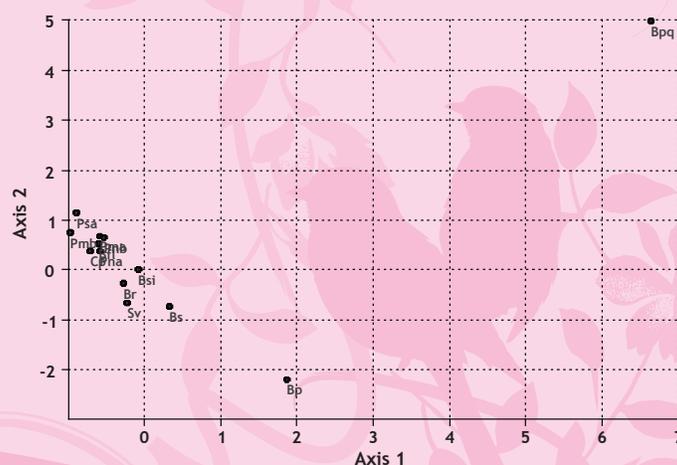


Fig. 8.- Análisis NMS con el índice de Jaccard. BPQ: Bosque primario de Quirragua, BP: Bosque Primario, BR: Bosque Ripario, SV: Tacotales, BSI: Bosque Secundario Intervenido, Cp: Cercas vivas, Pmb: Pasturas mejoradas con baja densidad de árboles.



■ Discusión

Especies asociadas a usos específicos de suelo.

La importancia de detectar especies indicadoras de buen grado de conservación o de antropización en comunidades animales y vegetales constituye desde hace años uno de los temas de mayor interés en la ecología comunitaria, ya que partiendo de este nivel de conocimiento se puede monitorear el estado de una comunidad sin tener que hacer estudios completos de la misma o se puede tener una idea rápida del tipo de comunidad a la que nos enfrentamos con sólo conocer si estas especies están presentes (NOSS, 1990, SPELLERBERG & SAWYER, 1999, entre otros).

Otro de los temas en debate es cuál taxón es mejor como bioindicador. Existen autores con datos que avalan a los grupos de su interés como buenos indicadores y eso es porque en casi todos los grupos existen especies cuya presencia o ausencia o las fluctuaciones de su abundancia nos están dando información sobre la calidad o salud de un hábitat o un ecosistema.

PERIS & MASA (1992), CHIPLEY et al. (2003a), CHIPLEY et al. (2003b), entre otros autores plantean que las aves se encuentran entre los mejores indicadores. En nuestro caso hemos encontrado resultados que confirman lo anterior. En el caso de las aves hemos encontrado algunas especies asociadas con usos de suelo boscoso, así como algunas otras estrictamente asociadas con pasturas. Teniendo en cuenta el esfuerzo de muestreo en que se basan estos datos (cuatro años, vid. PÉREZ et al. 2006), se puede concluir que los resultados son bastante confiables.

En el caso de los moluscos existían ya datos previos para la región del Pacífico de Nicaragua (PÉREZ et al. 2008) que apoyaban su condición de buenos indicadores y en el presente proyecto se presentan resultados de interés

aunque de acuerdo a nuestros datos no existen muchos autores trabajando con este enfoque ni publicaciones sobre el tema (PÉREZ et al. 2006).

Diversidad beta:

Según MAGURRAN (1989) la diversidad beta, es una expresión del grado de partición del ambiente en parches o mosaicos biológicos según algún tipo de gradiente, pudiendo ser este gradiente altitudinal o longitudinal. En relación con el primer aspecto se debe mencionar las contribuciones de KIKKAWA & WILLIAMS (1971) para aves de Nueva Guinea, así como la de TERBORGH (1977) para aves de los Andes. En el caso de los moluscos se deben mencionar los trabajos de BURLA & STAHEL (1983) en poblaciones del caracol *Arianta arbustorum* en los Alpes, y PÉREZ et al. (2004b) con comunidades de moluscos gasterópodos en el Cerro Maderas de la Isla de Ometepe, Nicaragua.

En relación con la vegetación, se debe mencionar el estudio de GILLESPIE & PRIGGE (1997), sobre zonación altitudinal de la vegetación en el Cerro Concepción de la Isla de Ometepe, en Nicaragua.

En lo concerniente a la cuantificación de la diversidad beta longitudinal o de paisaje, existen ya una mayor cantidad de trabajos publicados; muchos de ellos diseñados para recabar información clave que nos permita realizar un manejo integral del paisaje.

Se debe mencionar que SÁENZ & MONTERO (2006) plantearon que una alta diversidad beta pueden aumentar inestabilidad de los ensamblajes taxonómicos por lo que los valores obtenidos pueden ser una garantía de la estabilidad taxonómica del paisaje estudiado.

En el caso de las aves se deben mencionar los trabajos de ACOSTA & MUJICA (1988) en varios bosques primarios cubanos, así como los de ESTRADA et al. (1997) en los Tuxtlas, México.

También, el trabajo de NARANJO (2004) en varios sistemas silvopastoriles de Colombia, el de CÁRDENAS et al. (2003), en diferentes hábitat de un paisaje fragmentado en Cañas, Costa Rica, así como el de VÍLCHEZ et al. (2004) sistemas silvopastoriles de Rivas, Nicaragua.

En muchos de estos trabajos se hace énfasis más en la diversidad alfa total determinada que en la heterogeneidad de los sistemas estudiados. No obstante, algunos autores como VÍLCHEZ et al. (2004), concuerdan con nosotros en que la diversidad beta observada es alta con una similitud entre usos de suelo (hábitat) de alrededor del 50 %. Existe también una reciente contribución de estos autores sobre nuestra área de estudio en la que concuerdan con nosotros en lo antes planteado (VÍLCHEZ et al. 2008).

Otro aspecto muy interesante destacado por estos autores es que la similitud atípica encontrada entre algunos usos de suelo, como puede ser un Bosque Ripario y una Pastura, se deben más bien al arreglo espacial del paisaje donde algunos de estos usos colindan entre sí que la similitud real existente entre los usos VÍLCHEZ et al. (2004).

Hasta el presente no hemos encontrado referencias específicas sobre estructura de comunidades de moluscos en este tipo de sistemas.

En el caso de la vegetación son de gran importancia las contribuciones de VILLANUEVA et al. (2003) en sistemas de producción ganadera del trópico seco de Costa Rica. Otros resultados de interés son los de KINDT et al. (2004) en fincas de los distritos de Vihiga y Kakamega, en el oeste de Kenia, África.

Existen otros trabajos de este tipo donde se consideran varios grupos, como los de SCHULZE et al. (2004), que comprendió plantas, aves e insectos, el de LAWTON et al. (1998) que comprendió varios grupos, la contribución de KESSLER et al. (2001), quienes estudiaron,

plantas y aves y los de PÉREZ et al. (2004, 2006) en el que se estudiaron plantas, aves y moluscos. En los trabajos citados, como ya se ha mencionado, se hace énfasis en la contribución de los sistemas silvopastoriles en términos de diversidad alfa.

Relaciones estructurales:

De las relaciones exploradas existen varias que resultan de interés. En el caso de la vegetación, la riqueza de especies muestra una relación significativa con la diversidad estructural calculada ($r=0.874$, $p < 0.01$), que es lo esperado por nosotros, ya que la complejidad estructural de la vegetación debe aumentar en la medida que aumentan las especies diferentes en una comunidad determinada. Este aspecto también ha sido señalado por REGOS (1989); asimismo, se presenta una relación muy significativa con la cobertura del dosel y la altura de los árboles ($r= 0.84$, $p < 0.01$).

Un aspecto a destacar es que con el aumento de la riqueza de especies de la vegetación, mayoritariamente árboles, se produce una disminución muy significativa ($r= - 0.70$, $p < 0.05$), de la cobertura del suelo en términos de pasturas. Este aspecto es frecuentemente señalado por los productores locales y puede ser corregido utilizando pastos mejorados (E. Ramírez, Com. Pers).

En relación con la riqueza de especies en aves, se ha encontrado que presenta relaciones no significativas con todas las variables estudiadas. En el caso de la relación con cobertura del dosel y la diversidad estructural los resultados esperados eran todo lo contrario, ya que se esperaba que a una mayor diversidad y cobertura del dosel incrementara la riqueza de especies de aves, como obtuvieron MACARTHUR & MACARTHUR (1961), y más recientemente LANG et al. (2003).

Otros resultados notables son los obtenidos para moluscos. Se encontró que la riqueza y la diversidad de especies de este grupo presentan una relación significativa y muy significativa, respectivamente ($r= 0.655$, $p < 0.05$, $r= 0.7$, $p < 0.01$), con la diversidad estructural del follaje y además una relación muy significativa y significativa, respectivamente, entre la riqueza y la diversidad de especies de este grupo y la diversidad de la vegetación ($r=0.85$, $p < 0.01$; $r=0.75$, $p < 0.05$).

Además, la diversidad de especies de este grupo (moluscos) presentó una relación significativa con la cobertura del dosel ($r= 0.63$, $p < 0.05$). Esto podría explicarse porque estas variables están relacionadas con la producción de hojarasca, y esta última constituye un elemento muy importante para la conformación del hábitat en los moluscos continentales (PÉREZ et al. 2008).

Análisis general

En el Análisis de componentes principales se observa una tendencia a la unión de los usos boscosos por una parte (BP, BR, BS, etc) y los usos de pasturas por la otra. El Bosque primario del área protegida de Quirragua se separa de los dos grupos. En el Análisis de escalonamiento múltiple que magnifica las diferencias existentes entre los usos se presenta más o menos la misma tendencia pero el Bosque primario de las áreas protegidas de Quirragua se separa notablemente del resto de los usos lo cual es comprensible teniendo en cuenta que varias de las especies que se presentan en el mismo no están presentes en otros usos de suelo.

■ Conclusiones

- Los usos de suelo presentan un bajo número de especies estrictamente asociados a ellos. Estas especies pueden ser consideradas especies indicadoras para estos usos. Los

usos de suelo con el número más alto de especies de aves exclusivas son los Bosques riparios y los Bosques primarios del área protegida de Quirragua con seis especies. El uso de suelo con más alto número de especies de moluscos es el Bosque primario del área protegida de Quirragua con siete especies, seguido por el Bosque primario de los sistemas silvopastoriles con tres especies y los Bosques riparios con dos especies.

- La diversidad beta puede ser considerada entre media y alta para ambos grupos (aves y moluscos). Esto significa que hay algunas especies exclusivas de ciertos usos de suelo pero también existe un número de especies compartidas entre varios usos, dando como resultado una tasa de recambio media.
- Se realizó un análisis utilizando las categorías de dependencia del bosque de STILES & SKUTCH (1998), con estos criterios encontramos 26 especies de aves dependientes de bosque, 119 especies generalistas para un 56.13 % y 67 especies de áreas abiertas para un 31.6 % del total. En moluscos encontramos 33 especies dependientes del bosque para un 59 %, 20 especies generalistas que representan 35.7 % del total y tres (3) especies de áreas abiertas.
- En cuanto a la estructura de la vegetación, se han encontrado correlaciones significativas o muy significativas entre varios pares de variables. Se encontró una correlación muy significativa ($r= 0.88$, $p < 0.01$) entre la diversidad de especies de vegetación y la diversidad estructural, es decir, la complejidad del follaje. Además entre la diversidad estructural y la diversidad y riqueza de especies de moluscos ($r= 0.655$, $p < 0.05$, $r= 0.7$, $p < 0.01$). Estos resultados indican que la diversidad estructural del follaje debe ser tomada en cuenta, conjuntamente con la cobertura, para hacer

inferencias sobre la diversidad de otros grupos en los sistemas silvopastoriles.

- En relación con la riqueza de especies en aves, se ha encontrado que presenta relaciones no significativas con todas las variables estudiadas. En el caso de la relación con cobertura del dosel y la diversidad estructural los resultados esperados eran todo lo contrario, ya que se esperaba que a una mayor diversidad y cobertura del dosel incrementara la riqueza de especies de aves.
- Los análisis multivariados realizados muestran una tendencia a la unión de los usos boscosos por una parte (BP, BR, BS, etc) y los usos de pasturas por la otra. El Bosque primario del área protegida de Quirragua se separa de los dos grupos.

■ Agradecimientos

Los autores queremos expresar nuestro agradecimiento al Dr. Tonnie Tekelenburg de MNP, Holanda por su fluida colaboración y ayuda. También a nuestros colegas de la administración anterior de MARENA (Ministerio del Ambiente y los Recursos Naturales) M. Sc. Marcela Nissen (ex Directora de Biodiversidad) y la M. Sc. Carolina Coronado (ex Directora de SINIA).

■ Referencias

- ALTONAGA, K. 1988. Estudio taxonómico y biogeográfico de las familias Endodontidae, Euconulidae, Zonitidae y Vitrinidae (Gastropoda: Pulmonata: Stylommatophora) de la península ibérica, con especial referencia al País Vasco y zonas adyacentes. Tesis Doctoral (inédita). Universidad del País Vasco. 549 p.
- AOU. 1998. Check-list of north american birds. 7ma ed., Allen Press.
- BURLA, H. & W. STAHEL. 1983. Altitudinal variation in *Arianta arbustorum* (Mollusca, Pulmonata) in the Swiss Alps. *Genetica*, 62: 95-108.
- CÁRDENAS, G., C. HARVEY, M. IBRAHIM & B. FINNEGAN. 2003. Diversidad y riqueza de aves en diferentes hábitat en un paisaje fragmentado en Cañas, Costa Rica. *Agroforestería en las Américas*, 10(39-40):78-85.
- COLWELL, R. K. 2004. EstimateS, Version 7: Statistical Estimation of Species Richness and Shared Species from Samples (Software and User's Guide). CHIPLEY, R., G. WALLACE & L. NARANJO. 2003a. Manual para el Monitoreo de Biodiversidad. Unpublished. American Bird Conservancy, Washington DC. 42 p.
- CHIPLEY, R., G. H. FENWICK., M. J. PARR & D. N. PASHLEY. 2003b. The American Bird Conservancy guide to the 500 most important bird areas in the United States. Random House, New York. 518 p.
- GILLESPIE, T. W. & B. PRIGGE. 1997. Flora and vegetation of a primary successional community along an altitudinal gradient in Nicaragua. *Brenesia*, 47-48: 73-82.
- GOTELLI, N. J. & A. M. ELLISON. 2004. A primer of ecological statistics. Sinauer, Massachusetts. 510 p.
- HARRIS, L. D. 1984. The fragmented forest. Island biogeographic theory and the preservation of biotic diversity. University of Chicago Press, Chicago, Illinois.

- HOWELL, S. & S. WEBB. 1995. A guide to the birds of México and Northern Central América. Oxford University press Inc. New York, USA. 851 p.
- INCER, J. 1973. Geografía ilustrada de Nicaragua. Editorial Recalde, Managua.
- INEC. 1995. Censos Nacionales. Cifras oficiales finales INEC, Managua. 46 p.
- INIFOM. 2004. Caracterizaciones (en línea). Disponible en <http://www.inifom.gob.ni/>
- KESSLER, M., S.K. HERZOG, S.A. FJELD & K. BACK. 2001. Species richness and endemism of plant and bird communities along two gradients of elevation, humidity and land-use on the Bolivian Andes. *Biodiversity and distributions*, 7:61-77.
- KIKKAWA, J. & W.T. WILLIAMS. 1971. Alti-tudinal distribution of land birds in New Guinea. *Search* (Sydney), 2: 64-65.
- KINDT, R., A.J. SIMONS & P. VAN DAMME. 2004. Do farm characteristics explain differences in tree species diversity among western Kemyan farms ?. *Agroforestry systems*, 63:63-74.
- LANG, I., H.L.G. LORRAINE, C. HARVEY & F.L. SINCLAIR. 2003. Composición de la comunidad de aves en cercas vivas del Río Frío, Costa Rica. *Agroforestería en las américas*, 10(39-40):86-92.
- LAWTON, J.H., D.E. BIGNELL, B. BOLTON, G.F. BLOEMERS, P. EGGLETON, P.M. HAMMOND, M. HODDA, R.D. HOLT, T.B. LARSEN, N.A. MAWSDLEY, N.E. STORK, S. SRIVASTAVA & A.D. WATT. 1998. Biodiversity inventories, indicator taxa and effects of habitat modification in tropical forest. *Nature*, 391:72-76.
- LEVARD, L., Y. MARÍN & I. NAVARRO. 2001. Municipio de Matiguás, potenciales y limitantes del desarrollo agropecuario. Cuaderno de Investigación, 11, Universidad Centroamericana, Managua. 83 p.
- MAGURRAN, A.E. 1987. Ecological diversity and its measurement. Princeton University Press, Princeton. 177 p.
- MARENA. 2001. Impactos del cambio climático en Nicaragua. Gráfica editores, Managua. 80 p.
- MARTÍNEZ, J.C. 2000. Lista patrón de las aves de Nicaragua. National Fish and Wildlife Foundation-Fundación Cocibolca-GTZ, Managua. 59 p.
- MOGOT (On line). www.mogot.org.
- MORALES, D., M. CHAVES & L. ROCHA. 2002. Análisis del cambio de cobertura arbórea en una microcuenca del Río Bulbul, Matiguás, Nicaragua, para los años 1954, 1968, 1981 y 1987. Informe inédito, Turrialba, Costa Rica. 26 p.
- NARANJO, L.G. 2004. Wild birds in Latin American pasture lands (en línea). Disponible en <http://www.virtualcentre.org>.
- NOSS, R. 1990. Indicators for monitoring biodiversity. A hierachical approach, *Conservation Biology*, 4: 355-364
- OVIEDO, E. 1993. Atlas básico ilustrado de Nicaragua y el mundo (ABINM). EPADISA-SALMA, Madrid. 66 p.
- PÉREZ, A.M. & A. LÓPEZ. 2002. Atlas de los moluscos continentales del Pacífico de Nicaragua. Editorial UCA, Managua. 312 p.
- PÉREZ, A.M., G. BORNEMANN, L. CAMPO, I. ARANA, M. SOTELO, F. RAMÍREZ & E. CASTAÑEDA. 2004a. Biodiversidad y

producción en sistemas silvo-pastoriles. Cuadernos de Investigación UCA, 15, 77 p.

- PÉREZ, A.M., M. SOTELO & I. ARANA. 2004b. Altitudinal variation of diversity on landsnail communities from Maderas Volcano, Ometepe Island, Nicaragua. *Iberus*,
- PÉREZ, A.M., M. SOTELO, F. RAMÍREZ, I. RAMÍREZ, A. LÓPEZ & I. SIRIA. 2005. Composición y riqueza de aves, moluscos y plantas asociadas con sistemas silvopastoriles de Matiguás y Rio Blanco, Dpto de Matagalpa, Nicaragua. *Encuentro*, 71:136-165.
- PÉREZ, A.M., M. SOTELO, F. RAMÍREZ, I. RAMÍREZ, A. LÓPEZ & I. SIRIA. 2006. Conservación de la biodiversidad en sistemas silvopastoriles de Matiguás y Rio Blanco, Dpto de Matagalpa, Nicaragua. *Ecosistemas*, 2006/3.
- PERIS, S.J. & A.I. MASA. 1992. Comunidades nidificantes y invernantes de aves del encinar adhesado (*Quercus rotundifolia*) del centro-oeste de la Pnínsula Ibérica. *Airo*, 3(3):75-82.
- POVEDA, L. & P. SÁNCHEZ-VINDAS. 1999. Árboles y palmas del Pacífico Norte de Costa Rica. Claves dendrológicas. Editorial Guayacán, Heredia, Costa Rica. 186 p.
- REGOS, J. 1989. Introducción a la ecología tropical. Editorial UCA, Managua. 252 p.
- RYAN, P.D., D.A.T. HARPER, & J.S. WHALLEY. 1995. PALSTAT, Statistics for palaeontologists. Chapman & Hall (now Kluwer Academic Publishers).
- RUÍZ, A. 2003. Sistemas silvopastoriles: una alternativa de servicios ambientales y mejorar el nivel de vida de las familias ganaderas en Nicaragua. IMPRIMATUR, Managua. 78 p.
- SÁENZ, J.C & J. MONTERO. 2006. Gradientes de diversidad en los Agropaisajes del Neotrópico: Una propuesta para determinar el umbral de la biodiversidad. PP presentation. SALAS, J. 1993. Árboles de Nicaragua. IRENA, Managua. 390 p.
- SHANNON, C.E. & W. WEAVER. 1949. The mathematical theory of communication. University Illinois Press, Urbana, Illinois.
- SPELLERBERG, I.F. & J.W.D. SAWYER. 1999. An introduction to applied biogeography. Cambridge University Press, Cambridge. 243 p.
- STILES, F. & A. SKUTCH. 1998. Guía de Aves de Costa Rica. 2ª ed. INBIO, Heredia, Costa Rica. 702 p.
- Costa Rica. Agroforestería en las América, 10(39-40):9-16.
- SOKAL, R. R. & F.J. ROLHF. 1981. The principles and practice of statistics in Biological research. State University of New York at Stony Brook. 859 p.
- TERBORGH, J. 1977. Bird species diversity on an Andean elevational gradient. *Ecology*, 58: 1007-1019.
- VÍLCHEZ, S., C. HARVEY, D. SÁNCHEZ, A. MEDINA & B. HERNÁNDEZ. 2004. Diversidad de aves en un paisaje fragmentado. *Encuentro*, 68:60-75.
- VÍLCHEZ, S., C. HARVEY, D. SÁNCHEZ, A. MEDINA, B. HERNÁNDEZ & R. TAYLOR. 2008. Diversidad de aves en un agropaisaje de Nicaragua. En: Evaluación y conservación

de biodiversidad en paisajes fragmentados de Mesoamérica. C. Harvey & J. Sáenz, Eds. 547-676.

- VILLANUEVA, C., M. IBRAHIM, C. HARVEY & H. ESQUIVEL. 2003. Tipología de fincas con ganadería bovina y cobertura arbórea en pasturas en el trópico seco de Costa Rica. *Agroforestería en las Américas*, 10(39-40):9-16.
- WILCOX, B.A. 1980. Insular ecology and conservation. En: M.E. SOULÉ y B.A. WILCOX, Eds, pp. 95-117. *Conservation biology an evolutionary-ecological perspective*. Sinauer, Sunderland, Massachusetts.
- WUNDERLE, J.M. 1994. Métodos para contar aves terrestres del Caribe. USDA, Forest Service. General Technical Report SO-100. 28 p.