

## Uso de la tierra y diversidades alfa, beta y gamma de diplópodos en la cuenca del río Otún, Colombia

Darío Hernán Ruiz-Cobo<sup>1\*</sup>, Julián Bueno-Villegas<sup>2</sup>, Alexander Feijoo-Martínez<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Grupo Gestión en Agroecosistemas Tropicales Andinos (GATA), Facultad de Ciencias Ambientales, Universidad Tecnológica de Pereira. Vereda La Julita A.A. 97, Pereira, **Colombia**.

<sup>2</sup> Laboratorio de Sistemática Animal, Centro de Investigaciones Biológicas, Universidad Autónoma del Estado de Hidalgo. Km. 4.5 carretera Pachuca - Tulancingo S/N. Colonia Carboneras, Mineral de la Reforma, Hidalgo, 42184, **México**.

\* [dhrcobo@gmail.com](mailto:dhrcobo@gmail.com)

Recibido. 28-10-2009; Aceptado: 22-04-2010

### Resumen

**Objetivo:** Determinar la relación entre los cambios promovidos por la intervención humana en ecosistemas y agrosistemas y la diversidad alfa, beta y gamma de Diplopoda de la cuenca media del río Otún. **Materiales y métodos:** Se utilizó un diseño sistemático estratificado con la selección de siete ventanas y 16 puntos de muestreo. Se separaron los diplópodos en familias y morfotipos para calcular la diversidad alfa, beta y gamma relacionada con la heterogeneidad de usos del terreno. **Resultados:** Se identificaron 35 morfotipos de 12 familias y cinco órdenes. La diversidad alfa de Diplopoda evidenció diferencias significativas entre usos del terreno ( $P < 0,05$ ) y la disminución de ésta desde áreas más conservadas hacia las transformadas por procesos antrópicos. Se encontró alto número de morfotipos exclusivos entre relicto de selva y barbecho con bajo recambio de especies entre ellos, mientras que los pastizales, cultivos y plantaciones presentaron similar número de morfotipos pero el recambio entre ellos fue alto (complementariedad  $> 85\%$ ) a pesar de la baja diversidad en los usos, lo que determinó la alta contribución de la diversidad beta a la diversidad gamma del paisaje. **Conclusión:** La heterogeneidad de usos de la tierra mostró que los cambios modifican la estructura de la diversidad de diplópodos con gradientes que se separan desde los conservados hasta los altamente transformados.

**Palabras clave:** diversidad alfa, beta, gamma; Andes colombianos, diplópodos de suelo.

### Abstract

**Land use and alpha, beta, and gamma diversity of Diplopoda in the Otún basin, Colombia. Objective:** To determine the relationship between changes in ecosystems and agrosystems provoked by human intervention and the alpha, beta and gamma diversity of the Diplopoda in the middle basin of the Otún river. **Materials and methods:** In this research we used a stratified systematic design with seven sampling windows and 16 sampling points. Millipedes were divided into families and morphotypes to calculate the alpha, beta and gamma diversity related to the heterogeneity of land uses. **Results:** We identified 35 morphotypes from 12 families and five orders. Alpha diversity of Diplopoda revealed significant differences between land uses ( $P < 0.05$ ) and a decrease of richness from preserved areas to transformed areas by human activity. A high number of exclusive morphotypes were found in forest relicts and fallow with low species turnover between them, while the pastures, crop fields and plantations presented similar numbers of morphotypes but the species turnover between them was high (complementarity  $> 85\%$ ) in spite of the low diversity in the land uses, which determined the high contribution of the beta diversity to the gamma diversity of the landscape. **Conclusion:** The heterogeneity of land uses showed that the changes modify the structure of diversity in Diplopoda with gradients diverging from the preserved ones to the highly transformed ones.

**Key words:** alpha, beta, gamma diversity, Colombian Andes, soil Diplopoda.

## Resumo

**Diversidade alfa, beta, gama de diplópodes segundo o uso do solo na bacia do Rio Otún, Colômbia. Objetivo:** Determinar as relações entre as alterações provocadas pela intervenção humana nos ecossistemas e agrossistemas e a diversidade alfa, beta e gama de Diplopoda da bacia meia do rio Otún. **Materiais e métodos:** Foi utilizado um desenho amostral estratificado sistemático com a seleção de sete janelas de estudo e 16 pontos de amostragem. Os diplópodes foram separados em famílias e morfotipos para o cálculo da diversidade alfa, beta e gama e posteriormente estas foram relacionadas com a heterogeneidade dos usos do solo. **Resultados:** Foram identificados 35 morfotipos de 12 famílias e cinco ordens. A diversidade alfa de Diplopoda apresentou diferenças significativas entre os usos da terra ( $P < 0,05$ ) e diminuição desde áreas mais conservadas até aquelas transformadas por processos antrópicos. Observou-se um elevado número de morfotipos exclusivos entre vestígio de floresta e barbechos com baixa mudança de espécies entre eles, enquanto pastagens, lavouras e plantações tiveram números semelhantes de morfotipos; embora, a mudança de espécies entre eles foi alta (complementaridade  $> 85\%$ ), apesar da baixa diversidade nos usos, o qual determinou a alta contribuição da diversidade beta à diversidade gama da paisagem. **Conclusão:** A heterogeneidade dos usos do solo apresentou que as mudanças alteram a estrutura da diversidade dos diplópodes com gradientes desde os conservados até os altamente transformados.

**Palavras-chave:** diversidade alfa, beta e gama, Andes colombianos, diplópodes de solo.

## Introducción

La reducción de la biodiversidad en las selvas andinas tiene relación directa con la fragmentación del paisaje, producto de la introducción de sistemas de cultivo, plantaciones forestales y pastizales (1), lo que provoca cambios en los patrones y propiedades físicas y químicas del suelo y genera el confinamiento de poblaciones en pequeños fragmentos de hábitat (2, 3).

El conocimiento de la distribución de las especies en paisajes andinos fragmentados y en especial para la cuenca del río Otún puede contribuir a identificar las características ecológicas de estos ecosistemas y proponer estrategias que contribuyan a recuperar y mantener hábitats propicios para la recolonización. En este sentido, los estudios sobre biodiversidad resultan muy útiles en la caracterización de comunidades ecológicas, ya que muestran la forma en que una comunidad se reparte los recursos ambientales, convirtiéndose en una herramienta de comparación y medición del efecto de las actividades humanas en los ecosistemas (4). De igual forma, se puede evaluar o predecir impactos potenciales de las prácticas de manejo de los agroecosistemas en la estructura y función de las comunidades (5), lo cual ha sido poco explorado.

La clase Diplopoda es un grupo diverso con cerca de 12000 especies descritas (6) y aunque su conocimiento en el neotrópico se limita a 1100 especies (7), se estima que la mayor parte de la riqueza específica y diversidad se concentra en las áreas tropicales y subtropicales del mundo (8) con una alta representatividad en Latinoamérica aunque muy poco estudiada (9). El grupo cumple una función importante en la transformación y mantenimiento de la estructura del suelo (10), fragmentación del material vegetal y la deposición de heces fecales (11).

La cuenca del río Otún se caracteriza por presentar una alta biodiversidad de lauráceas, vegetación de matorrales, riparia, viaria o de bosques de reforestación y la presencia de aproximadamente 300 especies de aves, 150 de mariposas diurnas, 58 de mamíferos, 18 de ranas y 13 de ofidios (12) y aunque al interior de las reservas se han diseñado estrategias de protección y conservación de los recursos bióticos y abióticos, hacia el exterior de los vecindarios no se han estudiado las variaciones que se puedan presentar con el cambio. Tampoco se han buscado alternativas que minimicen el impacto de algunos sistemas de cultivo sobre la biodiversidad, especialmente de macroinvertebrados (13).

A partir de lo anterior se propuso determinar la relación entre los cambios promovidos por la intervención humana en ecosistemas y agrosistemas y la diversidad alfa, beta y gamma de Diplopoda de la cuenca media del río Otún.

## Materiales y métodos

El trabajo se realizó entre los meses de junio y septiembre de 2006 en áreas protegidas y con presencia de vegetación natural en el Santuario de Fauna y Flora Otún Quimbaya, el Parque Regional Natural Ucumari y en áreas con presencia de sistemas de cultivo (café, plátano, plantas aromáticas, cebolla larga), pastizales (*Paspalum notatum*, *Cynodon nlemfuensis*) y plantaciones con algunas especies exóticas en la cuenca media del río Otún en el departamento de Risaralda (**Figura 1**). El clima de la zona es bimodal con dos períodos lluviosos (marzo – junio, septiembre – noviembre) y secos (diciembre – febrero, junio – agosto), con temperatura promedio anual entre 14 y 18°C y precipitación de 2700 mm/año; El área correspondió con las zonas de vida Subandina y Andina (14).

Se seleccionaron siete ventanas de 1 km<sup>2</sup> y en cada una se situaron 16 puntos cada 200 m (112 puntos en total) con un GPS, (Figura 1). El diseño utilizado fue sistemático estratificado en dos dimensiones (modelo de red cuadrada), con la selección de un par de números al azar para fijar las coordenadas de la unidad superior izquierda y disminuir los efectos de la auto correlación (15); además permitió construir la ventana alineada o desalineada de manera bidimensional, de acuerdo con proyectos previos de otros programas internacionales (16,17).

Los muestreos se realizaron en trece usos del terreno: pastizales, monocultivos de café (*Coffea arabica*), cultivos de café asociado con plátano (*Musa spp*) y guadua (*Guadua angustifolia*), cultivos de yuca (*Manihot esculenta*) asociado con maíz (*Zea mays*), huerto casero, plantaciones de ciprés (*Cupressus sempervirens*), plantaciones de eucalipto (*Eucalyptus spp.*), monocultivo de guadua, plantaciones de pino (*Pinus patula*), plantaciones de urapán (*Fraxinus chinensis*), barbechos jóvenes, barbechos maduros y relictos de selva.

Los registros provenientes de usos del terreno heterogéneos se agruparon de acuerdo con niveles de intensidad de manejo y las características de la vegetación presente en el sistema, para lo cual se generaron cinco categorías: Relicto de selva (Rls, n=17), Plantación forestal (Pln, n=24), Barbecho (Suc, n=27), Cultivo (Cul, n=8) y Pastizal (Pas, n=36).

En la recolección de las muestras de diplópodos se siguió la metodología del programa Biología de Suelos Tropicales y Fertilidad (BSTF) (18), en cada punto de muestreo se separó un volumen de suelo de 0,25 x 0,25 x 0,3 m de profundidad y luego se extrajo de forma manual los ejemplares. Los animales se conservaron en alcohol 70%, se identificaron hasta familia (19, 20;) y posteriormente se separaron a nivel de morfotipo basado en criterios como el tamaño y distribución de las setas en cabeza y cuerpo, presencia y distribución de los ozoporos, morfología del *collum* y valvas anales. El número total de individuos colectados en cada muestra se multiplicó por 16 para extrapolar la muestra por metro cuadrado.

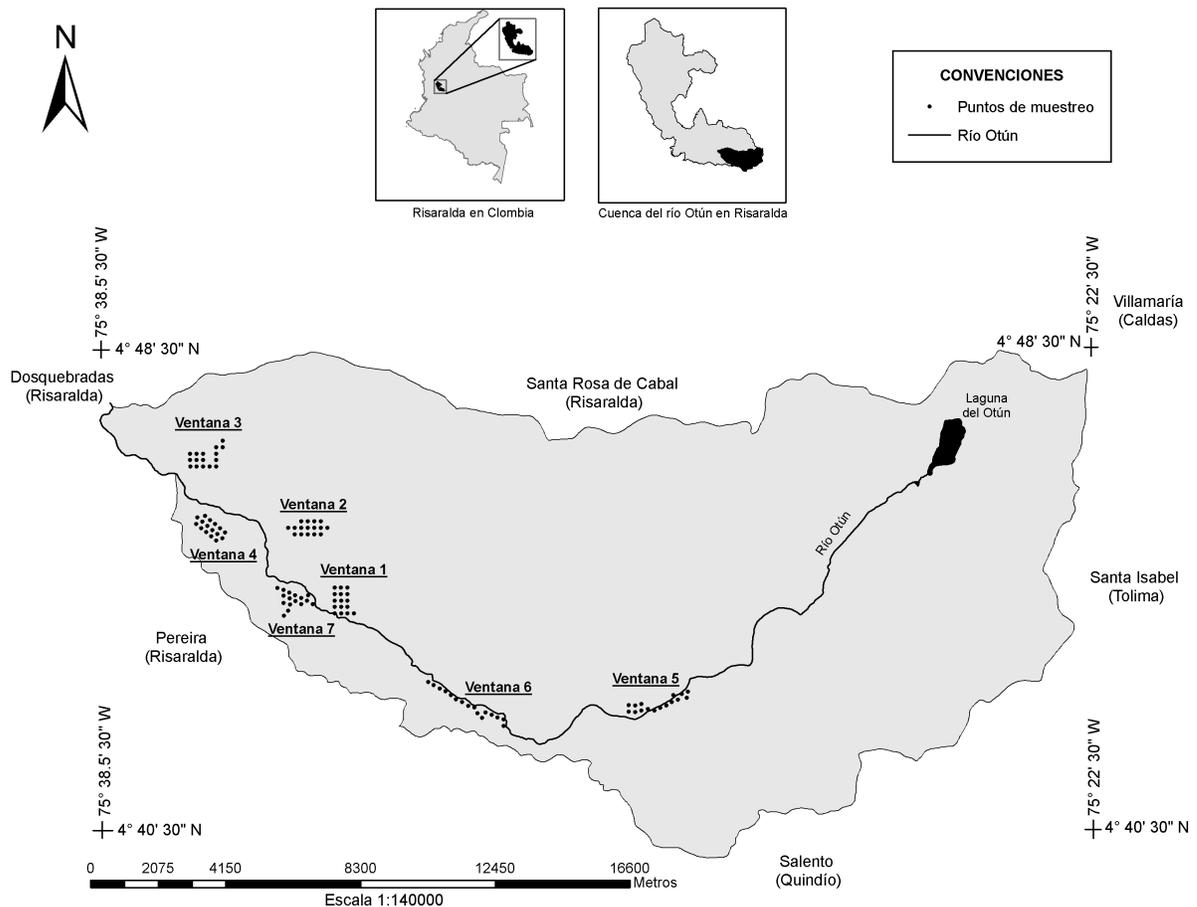


Figura 1. Localización de las 7 ventanas de 1 km<sup>2</sup> en la cuenca del río Otún, Colombia.

Se determinó la diversidad alfa como el número de morfotipos (total y promedio) por uso del terreno, la diversidad beta medida en función de la complementariedad entre usos, el número de morfotipos exclusivos y compartidos entre estos y la diversidad gamma como el total de morfotipos observados en el paisaje y según la relación entre diversidad alfa, beta y el número de usos.

Para la diversidad alfa se determinó la eficiencia de muestreo en cada sistema de uso del terreno mediante la elaboración de una curva de acumulación de especies según el método de Jackknife. Los datos se trataron mediante el programa Estimate S V. 7.5.1 con una aleatoriedad de 1000 veces. La unidad de esfuerzo usada fue de una única muestra por punto descartando aquellos datos de muestreos ocasionales o complementarios.

Debido al número de muestras por uso del terreno desigual, se determinó la diversidad alfa promedio, entendida como la media de valores puntuales correspondientes a distintos lugares con el mismo tipo de comunidad dentro de un paisaje (21) y expresado mediante la fórmula:

$$\alpha_{prom} = \frac{\left( \sum_{i=1..n} a_i \right)}{n} \quad [1]$$

**Donde:**  $a$  es la diversidad alfa en la  $i$ -ésima unidad de muestreo y  $n$  es el número de unidades de muestreo en el área de estudio

Se evaluó con la prueba de Kolmogorov-Smirnov si los datos cumplen con la distribución normal y con la prueba de Levene la homogeneidad de varianza. Al no cumplir con la condición los datos estimados para muestras desiguales fueron sometidos a análisis de varianza no paramétrico (prueba de Kruskal-Wallis) para determinar si existían diferencias en la diversidad entre los distintos usos del terreno.

La diversidad beta se determinó como el grado de semejanza en la composición de especies entre usos del terreno para lo cual se calculó la complementariedad entre pares de usos (22) expresada como:

$$C_{AB} = \frac{U_{AB}}{S_{AB}} \quad [2]$$

**Donde:**  $U_{AB}$  es la suma de especies únicas en cualquiera de los dos sitios calculada como:

$$U_{AB} = a + b - 2c \quad [3]$$

**Donde:**  $a$  es el número de especies del sitio A,  $b$  es el número de especies del sitio B y  $c$  es el número de especies en común entre los sitios A y B

Y  $S_{AB}$  es el total de especies para ambos sitios combinados calculado como:

$$S_{AB} = a + b + c \quad [4]$$

Así, la complementariedad varía desde cero, cuando ambos sitios son idénticos en composición de especies, hasta uno, cuando las especies de ambos sitios son completamente distintas (22). Asimismo, se calculó el porcentaje de morfotipos exclusivos entendido como la relación de morfotipos en cada uso del terreno que no se capturaron en los otros usos del terreno y el porcentaje de morfotipos compartidos, es decir, los morfotipos comunes entre pares de usos del terreno.

La diversidad gamma considerada como riqueza de morfotipos por muestra a nivel del paisaje se calculó como la sumatoria total de morfotipos en el estudio. Los datos se trataron mediante el programa Estimate S V. 7.5.1 para estimar los valores de riqueza esperada y se construyeron las curvas de saturación para conocer la confiabilidad del método de muestreo. Como medida complementaria de diversidad gamma se aplicó la ecuación de Ricklefs y Schluter (23) la cual establece la relación en los componentes alfa, beta y la dimensión espacial, así:

$$\gamma = \alpha_{prom} \times \beta \times \text{dimensión de la muestra} \quad [5]$$

**Donde:**  $\alpha_{prom}$  es el número promedio de especies en una comunidad;  $\beta$  es el inverso de la dimensión específica (1/ número promedio de usos ocupados por una especie) y dimensión de la muestra es el número total de usos del terreno.

## Resultados

La comunidad de diplópodos fue de 5248 ejemplares y se identificaron 35 morfotipos distribuidos en 12 familias y cinco órdenes. El orden Polydesmida fue el más diverso con 18 morfotipos distribuidos en siete familias, seguido por Spirostreptida con siete morfotipos y dos familias, Siphonophorida con cuatro morfotipos y una familia, Spirobolida tres morfotipos y una familia y Glomeridesmida tres morfotipos y una familia (**Tabla 1**).

**Tabla 1. Composición taxonómica de los diplópodos colectados en los diferentes usos del terreno en la cuenca del río Otún (Risaralda-Colombia).**

Clase	Orden	Familia	Morfo	Uso del terreno		
Diplopoda	Spirostreptida	Spirostreptidae	Sp1	Rls, Suc		
			Sp2	Pas, Cul,		
			Sp3	Pas, Rls		
		Pseudonannolenidae	Ps1	Rls, Suc, Pln		
			Ps2	Rls, Suc, Pln, Cul		
			Ps3	Rls, Suc		
			Ps4	Suc		
			Spirobolida	Rhinocricidae	Rh1	Pln, Suc
					Rh2	Pas, Rls, Suc
					Rh3	Rls
	Glomeridesmida	Glomeridesmidae	Gl1	Pas, Cul, Pln, Rls, Suc		
			Gl2	Pas, Rls, Suc		
			Gl3	Suc		
	Siphonophorida	Siphonophoridae	Sip1	Cul, Rls, Suc		
			Sip2	Pln, Rls		
			Sip3	Pln		
			Sip4	Suc		
	Polydesmida	Chelodesmidae	Ch1	Rls, Suc		
			Ch2	Pas, Suc		
			Ch3	Pln, Suc		
			Ch4	Suc		
			Ch5	Pas, Suc		
		Fuhrmannodesmidae	Fuh1	Cul, Rls, Suc		
			Fuh2	Pln, Rls, Suc		
			Fuh3	Suc		
			Fuh4	Suc		
		Platyrrhacidae	P11	Rls		
			Cyrtodesmidae	P11	Suc	
		P12		Pas, Rls, Suc		
		P13		Rls		
		Cryptodesmidae	Cry1	Pas, Suc		
			Paradoxosomatidae	Par1	Cul, Suc	
Par2	Suc					
Pyr1	Cul					

Rls: Relicto de selva, Pln: Plantación forestal, Suc: Barbecho, Cul: Cultivo, Pas: Pastizal

La diversidad alfa mostró que el mayor número de morfotipos se registró en relicto de selva y barbecho (21 y 29), seguido de cultivos, plantaciones y pastizales, estos últimos presentaron la menor diversidad a pesar de tener el mayor número de muestras (36 de 112). Además, la estima-

ción realizada para probar la representatividad de captura reveló que aún quedaron grupos por encontrar en cada uso del terreno, solamente el 68% de las especies estimadas fueron colectadas (**Tabla 2**).

**Tabla 2. Número de morfotipos de diplópodos observados y estimados mediante el método de Jackknife para los usos del terreno determinados en la cuenca del río Otún (Risarlada-Colombia)**

	Pas	Cul	Pln	Rls	Suc
Número de muestreos	36	8	24	17	27
Morfotipos observados	8	9	8	21	29
Jackknife	18	13	12	30	43

Rls: Relicto de selva, Pln: Plantación forestal, Suc: Barbecho, Cul: Cultivo, Pas: Pastizal

La prueba de Kruskal-Wallis mostró diferencias significativas y diferenció las áreas más conservadas (Relicto de selva y barbecho) de aquellas transformadas por procesos antrópicos (pastizal, cultivo y plantación forestal) ( $H = 49,81$ ;  $P < 0,05$ ) para diversidad alfa promedio entre usos del terreno (Tabla 3).

**Tabla 3. Diversidad alfa promedio de morfotipos de diplópodos estimados para los usos del terreno determinados en la cuenca del río Otún (Risarlada-Colombia).**

Sistema forestal	Media	Mínimo	Máximo
Pastizal	10,08 ± sd 4,96 (a)	1,35	17,78
Cultivo	8,18 ± sd 4,96 (a)	1,4	13,25
Plantación forestal	7,94 ± sd 3,61 (a)	0,54	11,83
Relicto de selva	18,83 ± sd 8,10 (b)	2,75	30,29
Barbecho	28,13 ± sd 11,99 (b)	1,98	43,41

Letras diferentes indican diferencias significativas mediante la prueba de Kruskal-Wallis ( $p < 0,05$ ); sd = desviación estandar.

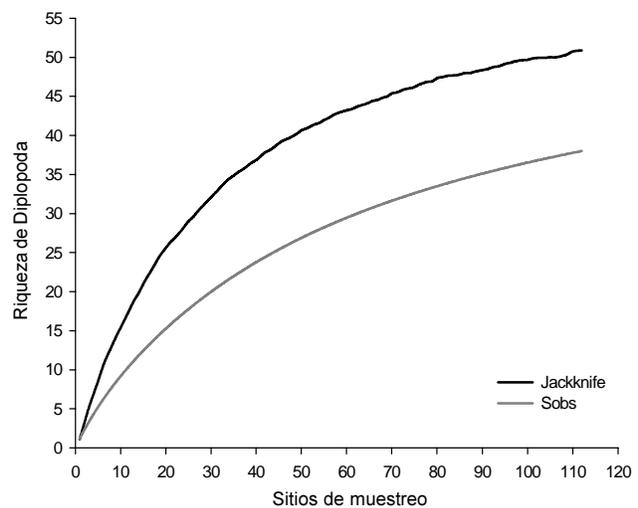
La complementariedad entre pares de usos del terreno estuvo por encima del 75%, entre plantaciones y barbecho fue del 87,9% seguido de cultivos que exhibieron un 86,7% en relación con pastizal y plantación forestal, solamente entre relicto de selva y barbecho se encontró que fue del 68,4%; (Tabla 4).

El mayor porcentaje de morfotipos exclusivos se presentó en relicto de selva y barbecho (23,8% y 27,6%) y el número de morfotipos compartidos estuvo por debajo del 35% para los pares de usos del terreno, el mayor valor se presentó entre barbecho y relicto de selva (32,4%) seguido por pastizal y barbecho (23,3%), pastizal y relicto de selva (21,7%) y plantación forestal y relicto de selva (20,8%). Los menores valores se registraron entre plantaciones

forestales y barbecho (12,9%) y entre plantaciones forestales y cultivos (13,3%) mientras que pastizales y plantaciones forestales no compartieron morfotipos registrando una complementariedad del 100% (Tabla 4).

La diversidad gamma fue de 35 morfotipos observados, valor cercano al de 38,2 obtenido mediante la ecuación de Ricklefs y Schluter (Fórmula 5), donde alfa promedio fue igual a 15, beta fue igual a 0,51 y la dimensión de la muestra fue de cinco usos del terreno.

El estimador Jackknife mostró que se podrían encontrar registros superiores a 35 morfotipos y que el mismo podría alcanzar valores cercanos a 51 (Figura 2).



**Figura 2.** Curvas de saturación de los morfotipos de diplópodos, observada (Sobs) y estimada (Jackknife) para los 112 muestreos realizados en la cuenca del río Otún (Risarlada-Colombia).

## Discusión

La abundancia total de diplópodos edáficos en la cuenca del río Otún (5248 ind) fue más alta que la encontrada por Adis *et al.* (24) en la selva alta del Amazonas (1126 ind) y Bueno-Villegas (19) en la selva alta de Los Tuxtlas, México (658 ind). A nivel de orden y familia los registros en este estudio fueron inferiores a los encontrados en Los Tuxtlas (11 órdenes y 18 familias) (19), diferencia atribuida probablemente al número de métodos de colecta empleados y las posibles diferencias en cuanto a condiciones ambientales, propiedades físicoquímicas del suelo y época de muestreo. Sin embargo se destaca la alta riqueza de grupos encontrada en la cuenca del río Otún, pues de todos los diplópodos registrados para Colombia (seis órdenes y

**Tabla 4. Diversidad beta de morfotipos de diplópodos en cinco usos del terreno reportados en la cuenca del río Otún (Risaralda-Colombia)**

Indicadores de diversidad beta	Pastizal	Cultivo	Plantación forestal	Relicto de selva	Barbecho
# Total de morfotipos	8	9	8	21	29
% Morfotipos exclusivos	0	11,11	0	23,81	27,59
% Morfotipos compartidos					
Con cultivos	14,29	—			
Con plantaciones	0	13,33	—		
Con relicto de selva	21,74	16	20,83	—	
Con barbecho	23,33	16,67	12,90	32,43	—
% Complementariedad					
Con Cultivos	86,67	—			
Con plantaciones	100	86,67	—		
Con relicto de selva	79,17	84,62	79,16	—	
Con barbecho	76,67	84,84	87,87	68,42	—

13 familias) (25) solamente Stemmiulidae no fue encontrada en este estudio.

Las diferencias en diversidad alfa entre usos del terreno estuvo relacionada con el grado de antropización y el cambio en la cobertura vegetal, los usos del terreno con menor grado de intervención (relicto de selva y barbecho) presentaron la mayor riqueza de diplópodos en relación con aquellos donde la acción antrópica es más intensiva (pastizales, cultivos y plantaciones), tendencia similar a la encontrada en paisajes fragmentados de México (26) y los Andes de Colombia (27) donde se comprobó que la alta disponibilidad de áreas boscosas favorece la presencia de especies en diferentes estados de sucesión y especialistas de hábitat.

Lo anterior corrobora el efecto que la modificación del uso de la tierra ejerce sobre la diversidad, coincidiendo con Stasióv (28) quien concluye que la alta diversidad de Diplopoda separa ambientes conservados de los perturbados, por lo cual se considera al grupo como sensible a la pérdida de la cubierta vegetal de la selva y a la introducción de prácticas agrícolas y pastizales (29). De igual forma, la cobertura arbórea heterogénea y abundante hojarasca propias de sistemas con baja intervención antrópica permiten la variedad de recursos tróficos y condiciones estables de humedad y baja insolación propicias para el asentamiento de estos organismos (30).

Sin embargo, la baja estimación de captura de especies pudo estar relacionada con el método de muestreo, que aunque es el más indicado para macroinvertebrados edáficos por proporcionar estimaciones fiables de densidad y biomasa para 15 grupos taxonómicos de la

macrofauna del suelo incluido Diplopoda (31), la colecta en hojarasca y colecta directa son métodos específicos de muestreo que tienen más precisión con relación a los hallazgos (29) y por lo tanto, sería importante incluir nuevos métodos de colecta, como los mencionados anteriormente, en futuros trabajos para la cuenca del río Otún.

La complementariedad media fue del 83,4%, y en promedio dos sitios solo compartieron el 17,1% de los morfotipos, lo que indica que cada uso del terreno tuvo un ensamblaje de especies particular y existió un amplio recambio entre estos. En principio, dos regiones o usos del terreno pueden contener el mismo número de especies, sin embargo pueden diferir en la importancia relativa de la diversidad local y en el recambio de especies (32). En este estudio los pastizales, cultivos y plantaciones presentaron similar número de morfotipos pero el recambio entre ellos fue alto (complementariedad mayor al 85%) a pesar de la baja riqueza en los usos, lo que determinó la alta contribución de la diversidad beta a la diversidad gamma del paisaje. Además la alta diversidad beta se relaciona con composiciones de especies diferentes en cada sistema de uso del terreno, lo que presume la adaptación de ciertas especies a condiciones ambientales específicas y áreas de distribución pequeñas (33).

La complementariedad entre usos del terreno podría ser utilizada como herramienta para el estudio de las características a tener en cuenta en la determinación de potenciales áreas de reserva o conservación para la biodiversidad ya que generan una idea de la mínima combinación de sitios necesarios para incluir la totalidad de especies de la región, (32).

El alto número de morfotipos exclusivos en relicto de selva y barbecho pudo estar relacionado con variables ambientales no medidas en este estudio tales como pH, contenido de Ca, producción de hojarasca y concentración de humus (28), las cuales pudieron condicionar la distribución de algunas especies (32).

El número de morfotipos compartidos entre usos del terreno fue relativamente bajo; el mayor porcentaje se presentó entre barbecho y relicto de selva y pudo deberse a características similares en grado de intervención antrópica y diversidad de hojarasca. A su vez, el considerable porcentaje de morfotipos que estos usos compartieron con pastizales pudo estar relacionado con la confluencia y el efecto de vecindario, pues estas áreas no intervenidas generalmente se encontraron rodeadas por pastizales, lo que pudo generar un corredor entre estos usos del terreno tan contrastantes, relación que también se observó, aunque en menor medida, entre relicto de selva y plantaciones forestales pues estas suelen contribuir a aumentar la conectividad del paisaje al ofrecer recursos suplementarios que ejercen una acción amortiguadora frente a algunas especies sensibles a la fragmentación (27).

La diversidad gamma de Diplopoda en la cuenca del río Otún (35) puede considerarse baja si se compara con el valor de especies estimadas (51), la menor diversidad de morfotipos colectados en pastizales, cultivos y plantaciones forestales y la ausencia de diferencias significativas en el número de especies entre estos usos del terreno y entre relicto de selva y barbechos habrían influido en el número total de morfotipos encontrados en la zona. Sin embargo el alto recambio de especies posiblemente asociado a la existencia de condiciones ambientales heterogéneas en los usos del terreno, contribuyó a incrementar el valor de diversidad a escala regional obtenido mediante el índice de Ricklefs y Schluter (38,2), lo que presume que la diferencia entre morfotipos observados y estimados, se podría compensar al aplicar otros métodos de captura tal como lo plantean las investigaciones de Bueno-Villegas (19) y Snyder *et al.* (10).

## Conclusiones

El efecto de las prácticas de manejo en los agroecosistemas de la cuenca del río Otún se vio reflejado en la comunidad de diplópodos al disminuir significativamente su diversidad desde las áreas más conservadas hacia las transformadas por procesos antrópicos. La diversidad de diplópodos asociados al suelo puede constituirse en un parámetro sensible al impacto producido por el cambio en el uso del terreno posibilitando la determinación de su diversidad alfa, beta y gamma como herramienta para evaluar el esta-

do de conservación del paisaje y construir opciones de manejo de la biodiversidad asociado con niveles de intensidad de usos del terreno.

## Agradecimientos

Los autores agradecen al Centro de Investigaciones y Estudios en Biodiversidad y Recursos Genéticos (CIEBREG), a la Universidad Tecnológica de Pereira por el apoyo para la realización de la investigación, a Jorge Marulanda y la empresa Aguas y Aguas de Pereira por facilitar los predios para llevar a cabo los muestreos.

## Financiación

Colciencias financió el proyecto «Valoración de los bienes y servicios de la biodiversidad para el desarrollo sostenible de paisajes rurales colombianos, Complejo Ecorregional de los Andes del Norte (CEAN)», del cual este trabajo se deriva.

## Conflicto de intereses

Los autores afirman no tener conflictos de intereses.

## Referencias

1. Feijoo MA, Zuñiga MC, Camargo JC. Signs to detect regeneration and degradation of agroecosystems in the coffee growing region of Colombia. *Livestock Research for Rural Development* 2005; **17** (3) Art #25. <http://www.lrrd.org/lrrd17/3/fej17025.htm>. Consultado el 20 de junio de 2009.
2. Feijoo MA, Knapp EB, Lavelle P, Moreno A. Quantifying soil macrofauna in a Colombian watershed. *Revista Pedobiología* 1999; **43**: 513-517.
3. Negrete-Yankelevich S, Fragoso C, Newton AC, Heal OW. Successional changes in soil, litter and macroinvertebrate parameters following selective logging in a Mexican Cloud Forest. *Applied Soil Ecology* 2007; **35**: 340-355
4. Halffter G. *La Diversidad Biológica de Iberoamérica*. Programa iberoamericano de ciencia y tecnología para el desarrollo. Instituto de ecología, A.C. secretaría de desarrollo social. México. 1992, 300 p.
5. Pérez AM. *Aspectos conceptuales, análisis numérico, monitoreo y publicación de datos sobre biodiversidad*. Araucaria-Marena (ed). Nicaragua. 2004, 338 p.
6. Sierward P, Bond JE. Current Status of the Myriapod Class Diplopoda (Millipedes): Taxonomic Diversity and Phylogeny. *Annual Review of Entomology* 2007; **52**: 401-420.
7. Costa-Neto E. The perception of diplopoda (arthropoda, myriapoda) by the inhabitants of the county of

- pedra branca, santa teresinha, bahia, brazil. *Acta Biológica Colombiana* 2007; **12** (2): 123-134.
8. Sielfeld W. *Clase Diplopoda. Guías de identificación y biodiversidad de la fauna chilena*. Apuntes de Zoología. Universidad Arturo Prat, Iquique, Chile. 2002.
  9. Hogue CL. *Latin American Insects and Entomology*. Berkeley: University of California Press. 1993, 594 p.
  10. Snyder BA, Draney ML, Sierwald P. Development of an optimal sampling protocol for millipedes (Diplopoda). *Journal of Insect Conservation* 2006; **10**: 277-288.
  11. Hopkin SP, Read HJ. *The Biology of millipedes*. Oxford University Press. 1992, 233 p.
  12. Parques Nacionales Naturales de Colombia (PNNC). *Plan básico de manejo 2005-2009 santuario de Fauna y Flora Otún Quimbaya*. Medellín 2004. [http://www.carder.gov.co/documentos/2999\\_Plan\\_de\\_manejo\\_SFF\\_Otun\\_Quimbaya.pdf](http://www.carder.gov.co/documentos/2999_Plan_de_manejo_SFF_Otun_Quimbaya.pdf). Consultado el 15 de septiembre de 2009.
  13. Ruiz-Cobo DH, Feijoo AM. Comunidades de macroinvertebrados edáficos en diferentes sistemas de uso del terreno en la cuenca del río Otún, Colombia. *Acta Zoológica Mexicana* (**En prensa**).
  14. Rangel JO, Aguilar M. Una aproximación sobre la diversidad climática en las regiones naturales de Colombia. En: Rangel JO (eds.). *Colombia diversidad biótica I*. Bogotá. 1994; 25-76.
  15. Cochran WG. *Técnicas de muestreo*. Cuarta Edición. Continental S.A. México. 1974.
  16. Bioassess. *Biodiversity Assessment Manual*. Version 1- Assessment Protocols. 2003.
  17. Mathieu J, Rossi JP, Grimaldi M, Mora P, Lavelle P, Rouland C. A multi-scale study of soil macrofauna biodiversity in Amazonian pastures. *Biology and Fertility of Soils* 2005; **40**: 300-305.
  18. Anderson JM, Ingram JSI. *Tropical Soil Biology and Fertility: a Handbook of Methods*. CAB International, Oxford. 1993, 221 p.
  19. Bueno-Villegas J. Los diplópodos del suelo en la selva alta de Los Tuxtlas. En: Alvarez-Sánchez J, Naranjo-García E. (eds.) *Ecología del suelo en la selva Tropical Húmeda de México*. Instituto de Ecología, A. C., Instituto de Biología y Facultad de Ciencias, UNAM. Xalapa, México. 2003; 226-236.
  20. Hoffman RL, Golovatch SI, Adis J, de Morais JW. Practical keys to the orders and families millipedes of the Neotropical region (Myriapoda: Diplopoda). *Amazoniana* 1996; **14**(1/2): 1-35.
  21. Halffter G, Moreno CE. Significado biológico de las diversidades alfa, beta y gamma. En: Halffter G, Soberón J, Koleff P, Meric A. (eds.). *Sobre diversidad biológica: el significado de las diversidades alfa, beta y gamma*. m3m Monografías tercer milenio, vol 4. Sociedad Entomológica Aragonesa, Zaragoza/ Comisión nacional para el conocimiento y uso de la biodiversidad/Grupo diversitas México/CONACYT, México D.F. 2005, 5-18.
  22. Colwell RK, Coddington JA. Estimating terrestrial biodiversity through extrapolation. *Philosophical Transactions of the Royal Society (Series B)* 1994; **345**:101-118.
  23. Ricklefs RE, Schluter D. Species diversity: Regional and historical influences. En: Ricklefs RE, Schluter D (eds.). *Species Diversity in Ecological Communities*. University of Chicago Press, Chicago, USA. 1993; 350-363.
  24. Adis J, de Morais JW, Guimaraes de Mesquita H. Vertical distribution and abundance of arthropods in the soil of a neotropical secondary forest during the rain season. *Studies on Neotropical Fauna and Environment* 1987; **22**, 189-197.
  25. Jeekel CAW, Hoffman RL, Shelley RM, Sierwald P, Kiser SB, Golovatch SI. A complete genus listing of all genus-group names in the class Diplopoda from 1758 through 1999. Sierwald, Petra (eds.) 2001. <http://www.myriapoda.org/milliPEET/MILLGEN1.xls>, Consultado el 31 de enero de 2008.
  26. Halffter G, Arellano L. Response of dung beetle diversity to human induced changes in a tropical landscape. *Biotropica* 2002; **34**: 144-154.
  27. Mendoza JE, Jiménez E, Lozano-Zambrano FH, Caycedo-Rosales P, Rengifo LM. Identificación de elementos del paisaje prioritarios para la conservación de biodiversidad en paisajes rurales de los Andes centrales de Colombia. En: Harvey CA, Sáenz JC (eds.). *Evaluación y conservación de biodiversidad en paisajes fragmentados de Mesoamérica*. Santo Domingo de Heredia, Costa Rica: Instituto Nacional de Biodiversidad. 2007; 251-288.
  28. Stasiov S. Millipede communities (Diplopoda) of oak-hornbeam ecosystems (the malé karpaty mts, trna, vská pahorkatina hills, sw Slovakia). *Ekológia* 2005; **24** (2): 143-151.
  29. Bueno-Villegas J, Rojas P. Fauna de milpiés (Artrópoda: Diplopoda) edáficos de una selva alta de los Tuxtas, Ver. Mexico. *Acta Zoológica Mexicana* 1999; **76** (n.s.): 59-83.
  30. Díaz M. Producción-descomposición de hojarasca y macroinvertebrados fragmentadores en cuatro agrosistemas de la cuenca del río La Vieja. Tesis de Maestría en Ecotecnología. Universidad Tecnológica de Pereira, 2009, 115 p.
  31. Rossi JP, Mathieu J, Cooper M, Grimaldi M. Soil macrofaunal biodiversity in Amazonian pastures: Matching sampling with patterns. *Soil Biology & Biochemistry* 2006; **38**, 2178-2187.
  32. Rodríguez P, Soberón J, Arita H. El componente beta de la diversidad de mamíferos de México. *Acta Zoológica Mexicana* 2003; (89): 241-259.
  33. Scott JM, Norse EA, Arita HT, Dobson A, Estes JA, Foste M, Gilbert B, Jensen D, Knight RL, Mattson D, Soulé ME. The issue scale in selecting and designing biological reserves. En: Soulé ME, Terborgh J (eds.). *Continental conservation, scientific foundations of regional reserve networks*. Island press, Washington, D.C. 1999.