

EVALUACIÓN DE LA DIVERSIDAD FLORÍSTICA EN CUATRO BOSQUES DE LA ZONA AMORTIGUADORA DEL PARQUE NACIONAL NATURAL LOS NEVADOS

Luis Gabriel López H., Yenny Alexandra Ramírez H. y Yury Dellanid Zamora S.¹

Resumen

Se establecieron 4 unidades de monitoreo permanente de 1 ha, en bosques de cada uno de los departamentos con jurisdicción, en la zona amortiguadora del Parque Nacional Natural Los Nevados, realizando 4 mediciones, en un periodo comprendido entre 1999 y 2010. Para la evaluación de la diversidad dentro de cada uno de los 4 ecosistemas se utilizaron tres grupos de medidas, que corresponden a: los índices de riqueza de especies, los índices de abundancia relativa de especies y los índices de abundancia de especies; con los cuales, se determinó la Diversidad alfa. De igual manera, se evaluó la beta diversidad, entre cada uno de los sitios de muestreo, utilizando para esto, las medidas de similaridad y disimilaridad, propuestas por (HALFFTER (1992) y (MAGURRAN (1988), encontrando, que existe alta rareza de especies en los bosques de la zona amortiguadora del Parque Nacional Natural Los Nevados, en especial, en el Parque Regional Ucumarí (Risaralda), con base en lo anterior, se determinó, que cada uno de los ecosistemas evaluados: Parque Regional Ucumarí, Área Natural Protegida la Montaña, (Quindío), Torre 4 (Caldas) y El Palmar (Tolima), presentan alta heterogeneidad en su Diversidad alfa. Por otra parte, las relaciones de similitud, son bastante bajas, entre los ecosistemas evaluados, lo que demuestra la alta beta diversidad y la poca conectividad presente, en la zona amortiguadora del parque, derivada de factores geomorfológicos y antrópicos, sin embargo, cada área contribuye de manera independiente, a la conservación de los ecosistemas dentro y fuera del Parque Nacional Natural Los Nevados, por lo que es aconsejable, preservar este mosaico de hábitats.

Palabras Clave: Diversidad alfa, beta diversidad, composición florística, parcelas permanentes, riqueza de especies.

EVALUATION OF FLORISTIC DIVERSITY IN FOUR BUFFER ZONE FORESTS IN THE NATIONAL NATURAL PARK LOS NEVADOS

Abstract

Four 1 hectare permanent monitoring units were established in forests of each of the departments with jurisdiction in the buffer zone of Los Nevados National Park, carrying out 4 measurements over a period between 1999 and 2010. For the assessment of diversity within each of the 4 ecosystems used, three groups of measures were performed corresponding to: the rates of species richness, relative abundance rates of species and abundance rates of species with which the alpha diversity was determined. Similarly, the beta diversity between each of the sampling sites was tested, using for this purpose the similarity and dissimilarity measures proposed by (Halffter(1992) and (Magurran(1988), finding that there is a high rarity of species in the buffer zone of Los Nevados National Park forests, especially in the Regional Park Ucumarí (Risaralda). Based on the aforementioned,

* FR: 18-IV-2012. FA: 10-VIII-2012.

¹ Grupo de Investigación en Biodiversidad y Dinámica de Ecosistemas Forestales Universidad del Tolima, Facultad de Ingeniería Forestal.

it was determined that each of the ecosystems evaluated: Ucumari Regional Park, Protected Natural Area La Montaña (Quindío) Tower 4 (Caldas) and El Palmar (Tolima), show high heterogeneity in alpha diversity. On the other hand, similarity relations are quite low between ecosystems evaluated, demonstrating a high beta diversity and little connectivity present in the park buffer zone, derived from geomorphological and anthropogenic factors. However, each area independently contributes to the conservation of ecosystems within and outside Los Nevados National Park, so it is advisable to preserve this mosaic of habitats.

Keywords: Alpha diversity, beta diversity, floristic composition, plots, species richness.

INTRODUCCIÓN

Los Andes tropicales, cubren una extensión de 1'543.000 km² y se distribuyen desde el oeste de Venezuela, hasta la frontera entre Bolivia, Chile y Argentina (JOSSE *et al.*, (2009), en Colombia, estos ecosistemas, se distribuyen a lo largo y ancho de las tres cordilleras, en que se dividen los Andes.

Son reconocidos como ecosistemas únicos, con altísimo grado de diversidad biológica, caracterizados por su rareza y singularidad, que proveen grandes beneficios, como la regulación del clima a escalas regionales, al captar gran cantidad de agua de los bancos de nubes que por efecto de la orografía andina, se precipitan, así como la captación de CO₂ atmosférico, alcanzando a acumular entre 20 y 40 toneladas por hectárea (CUESTA *et al.*, 2009). Sin embargo, son uno de los ecosistemas más amenazados y vulnerables, frente al cambio climático y el dinamismo poblacional.

Aunque la figura de zona amortiguadora, actualmente, no se encuentra reglamentada por la ley, los Decretos 2811 y 622 de 1977, hacen mención de esta, como un área importante, para atenuar las actividades del hombre y su impacto, sobre la ecología y vida silvestre, de los parques nacionales.

En consecuencia, este estudio presenta los resultados de la evaluación de la diversidad biológica que alberga la zona amortiguadora del Parque Nacional Natural Los Nevados, en aspectos, tan fundamentales, como la diversidad alfa y beta.

MATERIALES Y MÉTODOS

Área de estudio

Se establecieron como sitios de muestreo, cuatro unidades permanentes de monitoreo, ubicadas en áreas naturales protegidas y establecidas por las Corporaciones Autónomas Regionales: CARDER, CORPOCALDAS, CORTOLIMA y CRQ, entre rangos altitudinales de los 2000 a 2500 m.s.n.m.

Método de Muestreo

En cada sitio de estudio, se estableció una parcela de monitoreo permanente de una (1,0) hectárea, por medio de métodos planimétricos, con brújula taquimétrica, cinta y jalón. La unidad de monitoreo se subdividió, en 10 transectos superpuestos de 10 x 100, con unidades de registro (sub-parcelas de 10 x10 m), las unidades

de muestreo, se delimitaron con estacas o pilotes de PVC (50 cm) y se reticularon con hilo de polipropileno. Los vértices de las parcelas y los puntos medios de las mismas, se identificaron, con tubos de PVC de color naranja, con longitud de 70 centímetros (Figura 1).

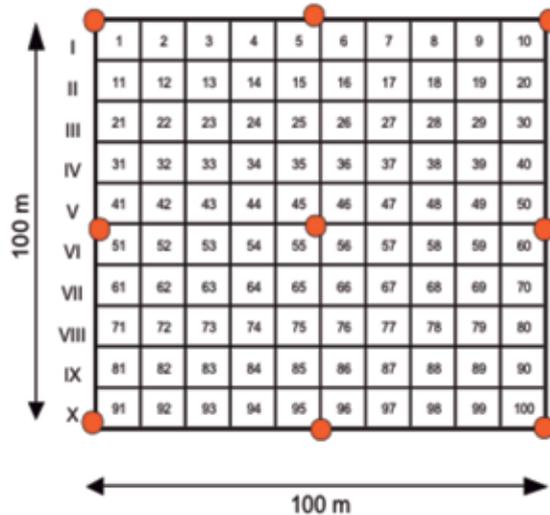


Figura 1. Unidad de monitoreo permanente de 1,0 ha, para la evaluación ecológica y la dinámica sucesional, de los ecosistemas boscosos ubicados en el área amortiguadora del PNN Los Nevados.

Se marcaron todos y cada uno de los árboles con diámetros (medido a 1,30 cm de la superficie del suelo) DAP, mayores e iguales a 10,0 cm, cuyo punto de medición, quedó delimitado por una cuerda de polipropileno y una banda de pintura de color amarillo y marcados con una placa de aluminio (anclada con un clavo inoxidable al árbol), se hizo la colección botánica, mínimo, de un ejemplar por especie, los cuales, fueron secados e identificados mediante comparación, revisión de monografías y claves en los herbarios de dendrología de la Universidad del Tolima y el Herbario Toli.

Los ejemplares que no se determinaron hasta el nivel de especie fueron comparados y agrupados en morfoespecies para el efecto del análisis y algunos fueron depositados en los herbarios mencionados anteriormente.

Análisis de datos

Para la evaluación de la diversidad biológica en la zona amortiguadora del Parque Nacional Natural Los Nevados, se determinaron la composición florística y el índice de valor familiar, así como las medidas de la Diversidad alfa correspondientes a: los índices de densidad de especies Margalef y Menhinick; la curva de acumulación de especies; los estimadores no paramétricos para la riqueza de especies Chao1, ACE y Jackknife; los índices basados en la abundancia relativa de especies Shannon-Wiener, Simpson y Berger-Parker y los modelos de abundancia serie geométrica, serie logarítmica, vara partida y el modelo Lognormal.

Para validar el ajuste de cada uno de los modelos de abundancia, se corrió la prueba χ^2 (chi cuadrado), por medio de la versión libre del programa PlanMaker 2010, mientras que, para validar el ajuste de los estimadores no paramétricos de riqueza de especies, se utilizó la prueba sesgo/exactitud, cuyos valores aparecen determinados en el procesamiento de la información.

En cuanto a la beta diversidad, se evaluaron las medidas de similaridad de Jaccard, coeficiente de Sorensen, el coeficiente cuantitativo de Sorensen, el índice de Morisita-Horn, mientras que, para las medidas de disimilaridad, se determinó: la distancia euclidiana, el porcentaje de disimilitud y remotidad.

RESULTADOS

COMPOSICIÓN FLORÍSTICA

Se presentan los resultados de los valores de la composición florística, por cada área de muestreo, resaltando las especies más abundantes.

Tabla 1. Composición florística registrada en las cuatro parcelas de muestreo de 1 ha, en la Zona Amortiguadora del PNN Los Nevados.

Parcela	Géneros	Especie	Familia	Individuos
La montaña (Quindío)	63	87	39	841
Palmar (Tolima)	67	104	39	969
Torre 4 (Caldas)	49	129	30	896
Ucumarí (Risaralda)	71	135	39	685

Parcela La Montaña (Quindío)

La especie más abundante fue *Clidemia 1* (Melastomataceae), con 102 individuos; seguida de *Viburnum pichinchense* (Caprifoliaceae) y *Lippia schlimii* (Verbenaceae), con 66 y 61, respectivamente; 27 especies (26,47 %), presentaron solo un individuo, 18 especies (17,64 %) presentaron dos individuos y 16 especies (15,68 %), registraron entre 10 y 50 individuos. Dos familias presentaron el mayor número de géneros: Lauraceae y Solanaceae, con cuatro géneros (6,34 %); seguida de Asteraceae, Melastomataceae y Verbenaceae, con tres géneros cada una (4,76 %); 27 familias (69,23 %), solo presentaron un género y las otras restantes (20 %), 2 géneros. De la vegetación registrada el 44,11 % corresponde a especies con 1 y 2 individuos.

Parcela El Palmar (Tolima)

Se registraron 969 individuos agrupados en 39 familias, 67 géneros y 104 especies. *Miconia gleasoniana* (Melastomataceae), registró 60 individuos, siendo esta la especie más numerosa (6,19 %), seguida de *Chrysochlamys colombiana* (Clusiaceae), con 45 individuos (4,65 %). El género que mayor número de especies presentó, fue Melastomataceae, con 7 especies (6,79 %), convirtiendo a esta familia, en la más representativa del área. En este mismo sentido, las especies raras que

corresponden a aquellas que poseen 1 y 2 individuos, sumaron el 55,33 % del total de la vegetación registrada, siendo esto, un indicador de riqueza de las mismas y de alta diversidad vegetal.

Parcela Torre 4 (Caldas)

El registro de individuos del área de estudio, fue de 896, agrupados en 129 especies, pertenecientes a 30 familias, con 49 géneros. La especie *Cordia cylindrostachya* (Boraginaceae), fue la que más individuos presentó, con 101 (11,27 %) seguida de *Saurauia 2* (Actinidiaceae) y *Cestrum humboldtii* (Solanaceae), con 65 (7,26 %) y 62 (6,92 %) individuos, respectivamente. El 2,24 % (20), de las especies presentaron solo un individuo y el 1,11 % (10), solo 2 especies.

La familia que mayor número de géneros registró fue Solanaceae, con 4 (8,69 %) y los géneros con mayor número de especies reportadas, fueron: *Aegiphila* (Verbenaceae) y *Cyathea* (Cyatheaceae), con cinco (7,14 %) especies cada una, seguida de los géneros: *Miconia* (Melastomataceae), *Saurauia* (Actinidiaceae) y *Cordia* (Boraginaceae), con 4 (5,72 %), 3 (4,29 %) y 3 (4,29 %) respectivamente.

Parcela Ucumarí (Risaralda)

Se registraron 685 individuos pertenecientes a 39 familias, 71 géneros y 135 especies. La especie más abundante fue *Topobea 1* (Melastomataceae), con 40 individuos; seguida de *Axinaea macrophylla* (Melastomataceae), con 30 individuos, siendo esta la familia más abundante con 100 individuos y con más géneros (10) (14,08 %); 45 especies (40,91 %), presentaron solo un individuo; 13 especies (11,81 %), presentaron 2 individuos; 15 especies (13,63 %), registraron entre 10 y 20 individuos y 8 especies (7,28 %), presentaron entre 21 y 30 individuos.

En términos de heterogeneidad y riqueza de especies, se puede observar que, existe una alta tasa de rareza de las mismas, debido a que especies con 1 y 2 individuos (raras), ocupan el 54,5 %, de la composición florística.

Índice de valor familiar

La Montaña (Quindío)

Entre las familias que presentaron un mayor índice de valor familiar, se encuentra: Melastomataceae, con los géneros *Clidemia*, *Leandra* y *Miconia*; Verbenaceae, con los géneros: *Aegiphila*, *Lippia* y *Citharexylum*, en este mismo sentido, entre las familias que presentaron el menor índice de valor familiar, se encuentran Anacardiaceae, Cornaceae y Myricaceae; y con un solo género: *Mauria*, *Cornus* y *Myrica*, respectivamente (Figura 2).

El Palmar (Tolima)

La familia que presentó el mayor índice de valor corresponde a: Melastomataceae con 4 géneros, dentro los que se encuentran: *Axinaea*, *Clidemia*, *Meriania* y *Miconia*, mas 7 morfotipos, con diferente número de individuos, que por sus características

morfológicas corresponden a esta familia; seguida por la familia Euphorbiaceae, con 3 géneros correspondientes a: *Alchornea*, *Sapium* y *Hyeronima*. Entre las familias con menor I.V.F., se encuentran: Flacourtiaceae, Winteraceae y Arecaceae; y con un sola especie: *Casearia mariquitensis*, *Drymis granadensis* y *Geonoma 1* (Figura 3).

Torre 4 (Caldas)

Para la parcela ubicada en el sector Torre 4, en el departamento de Caldas, se puede evidenciar que la familia Verbenaceae, presenta el mayor I.V.F., con 3 géneros dentro de los que se encuentran: *Aegiphila*, con 5 morfotipos, *Citharexylum subflavescens* y *Lippia schlimii* Turcz; seguida de Boraginácea, con los géneros *Tournefortia* y *Cordia*, Actinidiaceae con *Saurauia* con 3 morfotipos.

Entre las familias con menor índice de valor familiar, se encuentran: Proteaceae (*Panopsis yolombo*), Chloranthaceae (*Hedyosmum bonplandianum*), Rosaceae (*Prunus 1*), Clusiaceae (*Chrysochlamys colombiana*) y Meliaceae (*Cedrela montana*) (Figura 4).

Ucumarí (Risaralda)

En cuanto al I.V.F., para la parcela ubicada en el parque regional Ucumarí, las familias que registraron un alto valor fueron: Melastomataceae con los géneros *Axinaea*, *Leandra*, *Meriania*, *Miconia*, *Topobea* y un morfotipo, así mismo, Cyatheaceae, con 3 géneros *Alsophila*, *Cyathea*, *Sphaeropteris*.

En este mismo sentido, entre las familias que registraron un menor I.V.F., se encuentran Brunelliaceae, Winteraceae, Papilionaceae y Proteaceae.

Llama la atención la alta presencia de la familia Cyatheaceae, con especies poco abundantes y susceptibles a la perturbación (VARGAS, (2002), lo que puede significar, un indicador de conservación. La gran ventaja que se observa sobre la familia Melastomataceae, se debe en cierta medida, a los árboles pertenecientes al género *Topobea*, que posee ejemplares de gran porte (40 m) y diámetro (70 cm), que conforman el dosel del bosque (Figura 5).

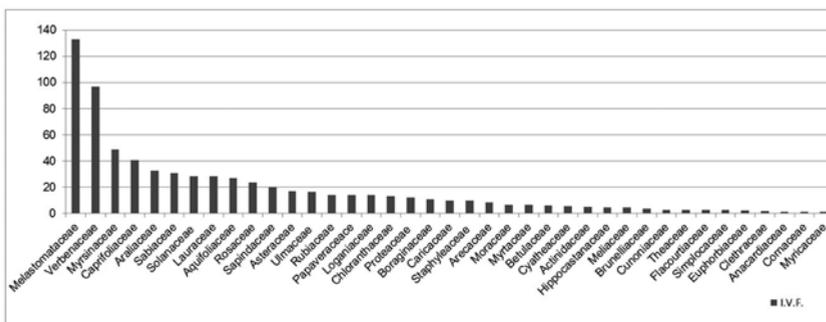


Figura 2. Representación gráfica del I.V.F., Parcela La Montaña.

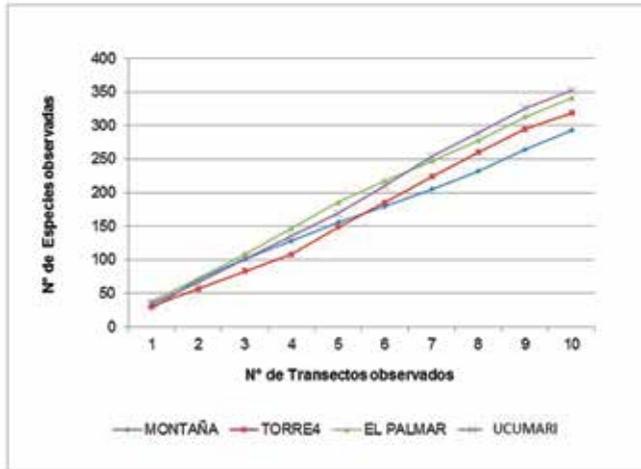


Figura 6. Curva de acumulación de especies ($DN \geq 10$ cm, 1ha) en las parcelas Ucumari, Torre 4, Palmar, La Montaña.

La curva de acumulación de especies, indica que la parcela ubicada en el PNR Ucumari, es un área de alta diversidad, donde se acumulan más especies por unidad de área, con respecto a las demás parcelas y que más de la mitad de la vegetación encontrada, posee, tan solo 1 ó 2 individuos.

En cuanto a la parcela ubicada en el departamento de Caldas, en el sector de Torre 4, se puede evidenciar, que en los primeros transectos, se observa una clara disminución de especies, debido a la dominancia que ejercen otras como *Cordia cilyndrostachia* y *Saurauia sp.*, pero a medida que va aumentando el área de muestreo, así mismo, aumenta la acumulación de especies.

Para la unidad de monitoreo establecida en el Palmar, se puede evidenciar la alta acumulación de especies, cuando aumenta el área de muestreo (Tabla 2), esto se debe a que casi la mitad de las especies registradas poseen, tan solo 1 ó 2 individuos, lo que aumenta la riqueza de las especies.

Sin embargo, la unidad de monitoreo establecida en el área natural protegida La Montaña, presenta la más baja tasa de acumulación de especies, a pesar de presentar una alta presencia de especies raras, el área recluta menos especies que los demás sitios.

Como se observa que, ninguna de las curvas establecidas alcanza un valor asintótico, es necesario aumentar el área de muestreo, con el propósito de definir el punto de decrecimiento de la curva de riqueza de las especies y determinar, el potencial de acumulación de las mismas para cada uno de los sitios por unidad de área.

Tabla 2. Tabla de valores con la cantidad de especies acumuladas por transectos (10 x 100m), en cada una de las parcelas (2010).

No. de Transectos observados	PARCELAS			
	MONTAÑA	TORRE 4	EL PALMAR	UCUMARÍ
1	28	31	38	35
2	71	57	72	66
3	101	83	109	102
4	128	108	147	135
5	156	149	186	169
6	180	186	218	210
7	205	224	247	254
8	232	260	278	289
9	264	295	313	326
10	293	319	341	352

Índices de Densidad de especies

Para determinar la variación en la diversidad de las especies, con respecto a cada uno de los sitios evaluados, se utilizaron los índices de diversidad de especies más conocidos.

Tabla 3. Índices de riqueza basados en la diversidad de especies, para cada uno de las unidades de monitoreo.

Unidad de Monitoreo	No. de Individuos	No. de Especies	Índice de Margalef (Dmg)	Índice de Menhinick (Dmn)
UCUMARÍ	678	135	20,55	5,19
EL PALMAR	701	104	15,72	3,93
TORRE 4	895	129	18,83	4,31
MONTAÑA	759	87	12,97	3,16

Para efectos de la evaluación de la diversidad registrada en cada una de las parcelas inventariadas, se observa, que la mayor riqueza de especies determinadas con los índices de Margalef (Dmg) y Menhinick (Dmn), se presenta en Ucumarí por tratarse de un área que cuenta con un mayor estado de protección y que pertenece, a un corredor de conservación conformado por áreas naturales protegidas de carácter regional y nacional.

En términos generales, los valores coinciden casi, que perfectamente con los encontrados por MELO (2000), (DMg = 20,21) y (DMn = 5,60) en un bosque en estado de conservación en la cordillera central, lo que podría tomarse, como una cifra máxima posible e indicadora de conservación para los bosques de esta zona de vida.

Así mismo, se evidencia que la parcela ubicada en el sector de Torre 4, en Caldas, presenta el segundo valor más alto en cuanto a riqueza de especies, pero con una mayor cantidad de individuos por hectárea que las demás.

Con respecto a la parcela La Montaña, ubicada en el departamento del Quindío, se puede deducir, que a pesar de tener una alta tasa de especies raras (1 y 2 individuos), presenta el valor más bajo con respecto a la riqueza de las mismas.

Estimadores no paramétricos de la rareza de especies

En cuanto a los estimadores no paramétricos de riqueza de especies, se encontró, que el estimador de Jackknife, es el que presenta menos sesgo y más exactitud, a la hora de determinar la riqueza de las especies, a excepción de la parcela La Montaña, que presentó, más exactitud y menos sesgo, con el estimador ACE. Lo que concuerda con lo citado por (CHIARUCCI *et al.*, 2003; GÓMEZ *et al.*, 2006), quienes afirman que, para muestreos con tamaños grandes, el estimador de Jackknife, es el que presenta valores más cercanos a la riqueza verdadera y con menos sesgo.

Tabla 4. Riqueza Estimada, observada, prueba de exactitud y sesgo, para las unidades de monitoreo establecidas (2010).

Unidad de Monitoreo	Riqueza Estimada.				Riqueza Observada
	Chao 1	Chao 2	Jackknife	ACE	
LA MONTAÑA					
Sesgo	-0.314	-0.377	-0.307	0.120	
Exactitud	0.098	0.139	0.094	0.014	
EL PALMAR					
Sesgo	0.252	-0.611	0.199	-0.198	104
Exactitud	0.063	0.373	0.039	0.039	
TORRE 4					
Sesgo	412,30	169,83	154,74	83,37	
Sesgo	2.196	0.316	0.199	-0.353	129
Exactitud	4.822	0.100	0.039	0.125	
UCUMARI					
Sesgo	257,70	197,45	164,7	81,97	
Sesgo	0.908	0.462	0.22	-0.392	
Exactitud	0.826	0.213	0.048	0.154	135

Sesgo= (S estimada/S observada)/S observada (1).

Exactitud= ((S estimada – S verdadera)/S verdadera)² (2).

Tomando este estimador, como aquel que más se ajusta, a la determinación de la riqueza verdadera de las especies, se podría afirmar que, en la unidad de monitoreo establecida en El Palmar, se evaluó el 83,34 % de las especies, así como el 83,36 % en Torre 4, el 82,31 % en Ucumarí y el 76,49 % en La Montaña.

Índices basados en la abundancia relativa de especies

Tabla 5. Valores de índices de diversidad encontrados para cuatro parcelas establecidas en el área amortiguadora del Parque Nacional Natural Los Nevados (2010).

SITIO	Shannon-Wiener	Uniformidad de Shannon	Simpson	Recíproco de Simpson	Berger Parker	Recíproco de Berger Parker
MONTAÑA	3,534	0,791	0,0499	20,008	0,134	7,441
PALMAR	3,873	0,834	0,032	31,303	0,086	11,683
TORRE 4	3,711	0,764	0,0431	23,172	0,113	8,861
UCUMARÍ	4,170	0,850	0,022	45,545	0,059	16,950

Analizando los valores obtenidos para cada uno de los sitios, por ejemplo, se pueden encontrar muchas ambigüedades. Se observa que, el índice Shannon-Wiener (H'), presenta su máximo valor en la parcela Ucumarí, asumiéndose, como un sitio de alta heterogeneidad, en donde todas las especies se encuentran distribuidas uniformemente y no se presentan especies dominantes que reduzcan la diversidad, coincidiendo con MORENO, (2001), quien menciona, que las coberturas boscosas con periodos de conservación de más de 30 años, presentarán valores por encima de 4, en este mismo sentido, CAVIEDES (1999), afirma que, valores entre 3 y 5, describen comunidades con alta heterogeneidad en sus especies.

Se esperaría, que estos valores aumenten para las demás parcelas, por encontrarse cercanas, al valor arrojado en la parcela de Ucumarí, lo que indica, que son parcelas con mucha tendencia a la heterogeneidad.

En cuanto al índice de Simpson (D), muestra, que ninguno de los sitios observados, presenta tendencia a la dominancia de las especies, toda vez, que ninguno de los valores se acerca a 0,1, lo que define una alta tasa de heterogeneidad. Sin embargo, en la parcela Torre 4, se observa dominancia de algunas especies, pero sin ser tan representativa, teniendo en cuenta, el área de muestreo.

Observando los valores arrojados en el índice de Berger Parker, se puede notar una clara coincidencia con lo analizado en el índice de Simpson, lo que determinaría, que los bosques de La Montaña y Torre 4, presentan más dominancia de especies, que Ucumarí y El Palmar.

Modelos de Abundancia

Las coberturas boscosas de los 4 sitios evaluados, fueron organizadas en términos de su abundancia en especies de mayor a menor cuantía, con el fin de determinar los patrones que describen la comunidad y que se conocen, como modelos de

abundancia y que por medio de una evaluación estadística generan una curva, que puede ser ajustada a alguno de los modelos de distribución más conocidos, entre ellos: Serie Geométrica, Serie Logarítmica, Modelo Log normal y Vara partida.

El modelo de abundancia seleccionado para cada uno de los sitios evaluados, es el resultado de un proceso de ajuste estadístico, conocido como Prueba Chi² y de una revisión bibliográfica detallada.

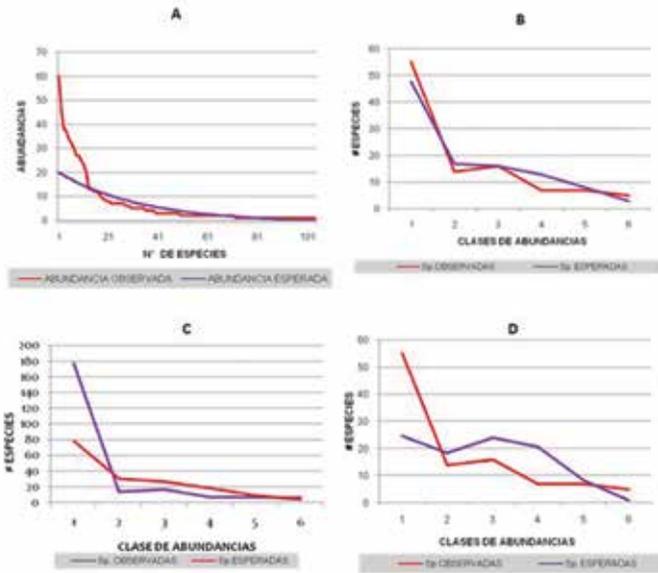


Figura 7. Comportamiento de los diferentes modelos de abundancia para las especies en Ucumarí, departamento de Risaralda. A. Serie geométrica. B. Serie logarítmica C. Modelo Lognormal. D. Modelo Broken-Stick.

Prueba Chi² para los modelos de abundancia: Ucumarí. Risaralda

Tabla 6. Ajuste de los cuatro modelos evaluados a la prueba de bondad X².

Modelo	X ² cal	X ² tab P (0,05)	X ² tab P (0,01)	GL (n-1)
Serie logarítmica	0,0004	11,0705	15,086	5
Modelo Log Normal	0	9,4877	13,276	4
Modelo Broken-Stick	0	11,070	15,086	5
Serie geométrica	0	162,015	174,99	135

Como se puede observar, los valores proporcionados por el modelo Lognormal, presentan el mejor ajuste, por lo cual, se selecciona este modelo para entender el patrón de comportamiento de la vegetación de la Unidad de Monitoreo establecida en el PRN Ucumari. Según Moreno (2001), este modelo caracteriza comunidades grandes, estables y en equilibrio, donde todas las especies crecen exponencialmente y responden independientemente, a diferentes factores. De igual manera HILL & HAMER (1998), proponen que las comunidades que no presentan ningún nivel de disturbio, se ajustan al modelo Lognormal, lo que se hace claramente evidente, en el PNR Ucumari, donde se cuenta con décadas de conservación.

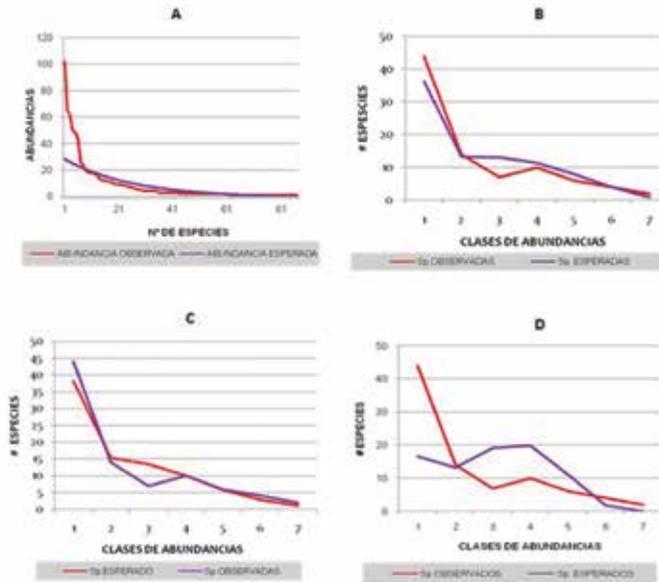


Figura 8. Comportamiento de los diferentes modelos de abundancia para las especies en La Montaña, departamento de Quindío. A. Serie geométrica. B. Serie logarítmica. C. Modelo Lognormal. D. Modelo Broken- Stick.

Prueba χ^2 para los modelos de abundancia – La Montaña

Tabla 7. Ajuste de los cuatro modelos evaluados a la prueba de bondad χ^2 .

Modelo	X^2_{cal}	$X^2_{tab} P(0,05)$	$X^2_{tab} P(0,01)$	GL (n-1)
Serie logarítmica	0,34896	12,5915	16,81189	6
Modelo Log Normal	0	11,07	15,086	7
Modelo Broken-Stick	0	12,59	16,811	6
Serie geométrica	$3,058 \times 10^{-012}$	108,647	119,413	86

El modelo que presentó el mejor ajuste estadístico, fue el de Lognormal. Como se menciona anteriormente, este modelo describe comunidades grandes y estables, además, si tenemos en cuenta, que esta comunidad presenta la mitad de sus especies raras (1 y 2 individuos), característica, que sólo es evidente, en comunidades sin ningún tipo de perturbación (HILL & HAMER, (1998) y que incide favorablemente en la estabilidad del ecosistema.

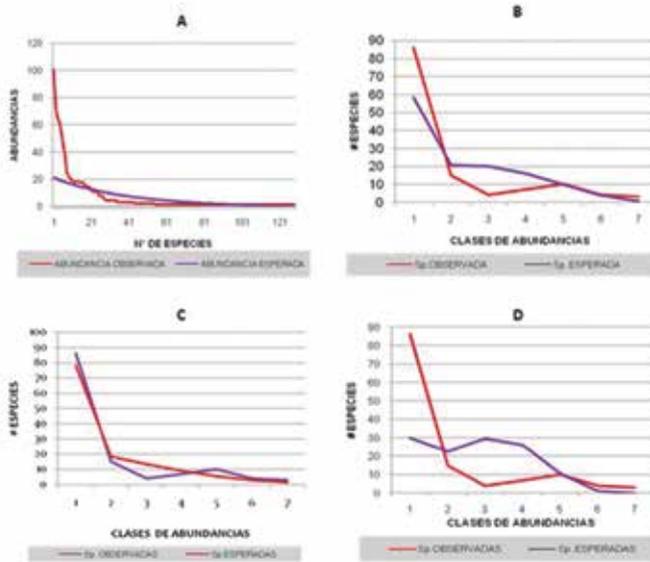


Figura 9. Comportamiento de los diferentes modelos de abundancia para las especies en Torre 4, departamento de Caldas. A. Serie geométrica. B. Serie logarítmica. C. Modelo Lognormal. D. Modelo Broken-Stick.

Prueba Chi² para los modelos de abundancia – Torre 4.

Tabla 8. Ajuste de los cuatro modelos evaluados a la prueba de bondad X².

Modelo	X ² cal	X ² tab P (0,05)	X ² tab P (0,01)	GL (n-1)
Serie logarítmica	7,804x10 ⁻⁰⁰⁸	12,5915	16,811	6
Modelo Log Normal	0	14,067	18,475	7
Modelo Broken-Stick	0	12,591	16,811	6
Serie geométrica	0	155,404	168,133	128

Para el bosque ubicado en el sector de Torre 4, se esperaría, que la comunidad presentase un comportamiento similar, al modelo Broken Stick, por ser el que mejor ajuste presenta. Según MORENO (2001), este modelo, es característico de

comunidades, donde todas las especies reciben los recursos del ecosistema por igual y la competencia disminuye, debido a que todas las especies colonizan equitativamente.

De igual manera, se puede observar, que el modelo Lognormal, también se ajusta de manera casi igual, que el modelo Broken-Stick, en cierta medida, que dos modelos se ajusten a un mismo ecosistema, es posible, en comunidades, donde se presentan procesos de perturbación y conservación, lo que se puede tomar, como una medida de recuperación del ecosistema, donde las especies dominantes, van disminuyendo a medida que aparecen las especies raras y se disminuye la competencia por espacio y nutrientes, interpretación biológica que se ajusta a los dos modelos.

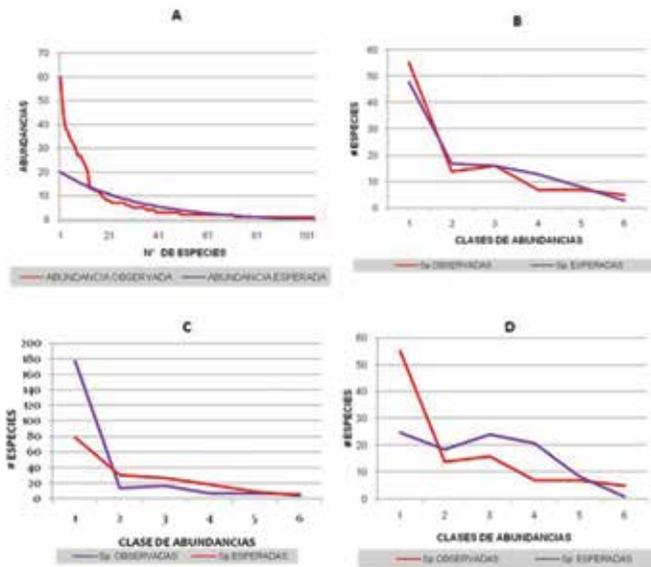


Figura 10. Comportamiento de los diferentes modelos de abundancia para las especies en El Palmar, departamento del Tolima. A. Serie geométrica. B. Serie logarítmica. C. Modelo Lognormal. D. Modelo Broken-Stick.

Prueba χ^2 para los modelos de abundancia – Palmar.

Tabla 9. Ajuste de los cuatro modelos evaluados a la prueba de bondad χ^2 .

Modelo	X^2_{cal}	$X^2_{tab} P(0,05)$	$X^2_{tab} P(0,01)$	GL (n-1)
Serie logarítmica	0,28344	11,070	15,086	5
Modelo Log Normal	0	11,070	15,086	6
Modelo Broken-Stick	$1,9428 \times 10^{-014}$	11,070	15,086	5
Serie geométrica	0	127,689	139,297	103

En el Palmar, el modelo que mejor se ajusta es el Lognormal, describiendo una comunidad con rangos de conservación y estable. (HILL & HAMER, 1998).

BETA DIVERSIDAD

Tabla 10. Índices cualitativos, cuantitativos de similitud y porcentajes de disimilitud, remotidud para la evaluación de la beta diversidad entre las parcelas UCUMARÍ (A), TORRE 4 (B), LA MONTAÑA (C) y EL PALMAR (D), en el área amortiguadora del Parque Nacional Natural los Nevados.

	ÍNDICES		PARCELAS		SIMILARIDAD	BETADIVERSIDAD (%)
MEDIDAS DE SIMILARIDAD	Jaccard		A - B		0,20	80
			A - C		0,30	70
			A - D		0,24	76
			C - B		0,31	69
			C - D		0,20	80
			D - B		0,20	80
	Sorensen		A - B		0,33	67
			A - C		0,47	53
			A - D		0,39	61
			C - B		0,47	53
			C - D		0,33	67
			D - B		0,33	67
	Coef. Cuant. Sorensen		A - B		0,14	86
			A - C		0,29	72
			A - D		0,23	77
			C - B		0,24	76
			C - D		0,15	85
			D - B		0,16	84
	Morisita -Horn		A - B		0,09	0,90
			A - C		0,27	0,74
		A - D		0,24	0,76	
		C - B		0,18	0,82	
		C - D		0,09	0,91	
		D - B		0,23	0,77	
MEDIDAS DE DISIMILARIDAD	PARCELAS	DISTANCIA	DISTANCIA	PORCENTAJE		
		EUCLIDIANA	EUCLIDIANA	DE	PORCENTAJE DE REMOTIDAD	
		ABSOLUTA	PROMEDIO	DISIMILITUD		
	A - B	193	16	86	92	
	A - C	174	14	72	83	
	A - D	143	11	77	87	
	C - B	221	20	76	87	
	C - D	204	16	85	92	
D - B	190	16	84	91		

DISCUSIÓN

En general, las cuatro unidades de monitoreo, presentan valores que describen comunidades heterogéneas, sin embargo, la unidad que presenta una mayor

riqueza de especies y con mayores rasgos de conservación, es la ubicada en el PNR Ucumarí, debido a que los valores de los índices de diversidad y riqueza de especies, así como los estimadores de estas siempre fueron superiores a las demás. En este mismo sentido, el modelo de abundancia de especies, que presentó el mejor ajuste estadístico (modelo Lognormal), describe una comunidad grande y estable, donde la competencia es mínima y todas las especies crecen exponencialmente y responden, independientemente, a diferentes factores MORENO (2001). De igual manera, HILL & HAMER (1998), proponen que las comunidades que no presentan ningún nivel de disturbio, se ajustan al modelo Lognormal, lo que es evidente, en el PNR Ucumarí, donde se cuenta con décadas de conservación de sus bosques.

La parcela ubicada en Torre 4, presenta ambigüedades, debido a que, el porcentaje de especies raras, es muy inferior a las demás parcelas 3,33 %, tal vez influenciado, por la fuerte dominancia de especies colonizadoras, como *Cordia cylindrostachya* y *Saurauia sp.*, las cuales, habitan sitios, que han sido sometidos a perturbación VARGAS (2002). En un muestreo realizado por ALVEAR *et al.*, (2010), en la misma zona de estudio, se encontró, que la zona baja de la reserva torre 4, presenta la menor diversidad de especies con respecto a 3 zonas, en las que fue dividida el área, mencionando que esta condición, se debe a que la zona baja hace parte de la zona de tránsito de los campesinos para sacar sus productos, así como la vía que conduce de Bogotá a Manizales. Sin embargo, los valores de Shannon $H' = 3.71$, son propios en comunidades heterogéneas CAVIEDES (1999), esto puede interpretarse, como un proceso en el cual, las especies colonizadoras o llamadas heliófitas efímeras, están disminuyendo y las raras, están aumentando.

Un análisis de los resultados concernientes a la evaluación de la beta diversidad entre cada uno de los sitios muestreados: Ucumarí, La Montaña, El Palmar y Torre 4; con cada uno de los índices obtenidos, evidencia, que el valor más alto de similitud, lo presentan las parcelas ubicadas en Torre 4 y La Montaña (Jaccard = 0,3 y Sorensen = 0,4), influenciadas por la baja presencia de especies y la alta dominancia de algunas de ellas, en los dos ecosistemas, que por tratarse de coberturas vegetales perturbadas, pueden presentar especies colonizadoras o secundarias tempranas similares (GÓMEZ *et al.*, 1991; FINEGAN, 1996).

Por el contrario, las parcelas menos similares y que presentan mayor diversidad beta, entre ellas, son: El Palmar-Torre 4 (80,42 %), seguidas por La Montaña-El Palmar (80,38 %) y Ucumarí-Torre 4 (80 %), describiendo ecosistemas totalmente diferentes y que presentan un muy bajo nivel de afinidad entre sí (HALFFTER (1992).

Finalmente, se evidencia la enorme diferencia entre las abundancias de las especies de todas las comunidades comparadas, debido a que ninguna, presentó valores cercanos a 0,5, que es el punto en el cual, según el índice de Morisita-Horn, las especies presentan igualdad en las estructuras, en este mismo sentido, se puede mencionar que cada uno de los bosques funciona y se comporta de manera muy diferente.

En cuanto a las medidas de las distancias euclidianas para las 4 comunidades, se observó que, solo en la comparación realizada entre las parcelas de Ucumarí y El Palmar, existe el valor más cercano a 0, lo cual indicaría, similitud total entre los ecosistemas evaluados. Para las demás comparaciones, este valor se alejó bastante, con valores cercanos a 200, estos resultados demuestran la gran diferencia que existe entre cada uno de los bosques evaluados, en los cuatro departamentos y

que cada uno, presenta patrones de comportamiento muy diferentes, reflejados en la riqueza y abundancia de las especies.

Con respecto a los valores obtenidos en los porcentajes de Remotidad y Disimilitud (PR %) y (PD %), se puede evidenciar que la mayor diferencia entre los ecosistemas, se presenta en las parcelas Ucumarí-Torre 4, con valores de (92,25 %) y (85,62 %), respectivamente, seguidas de la Montaña-El Palmar con (91,87 %) y (84,96 %). Diversos autores, como (VALAREZO *et al.*, 2001; MYERS *et al.*, 2000), plantean que los bosques montanos del noroeste de los Andes, presentan los más altos niveles de beta diversidad y endemismos locales, influenciados en cierta medida, por los fuertes gradientes ambientales, como relieve, topografía y altitud (KESSLER *et al.*, 2001; KESSLER, 2002; JORGENSEN & LEÓN-YANEZ, 1999), diferentes a los bosques amazónicos o de tierras bajas, donde los valores de beta diversidad, se invierten (GENTRY, 1995; CHURCHILL *et al.*, 1995), así mismo, se menciona que la mayor concentración de especies, que se observa en el neotrópico, se evidencia con más representatividad, en el norte de la cordillera de los Andes y el sur de Centroamérica, originado en gran parte por el levantamiento de los Andes septentrionales (GENTRY, 1988).

Lo anterior, es una clara muestra de la necesidad de conservar y preservar todos los hábitats en la zona amortiguadora y al interior del PNN Los Nevados, porque lo evaluado demuestra, que cada uno de los sitios, sustenta una alta tasa de diversidad por sí mismo, como también elementos bióticos (especies) muy diferentes entre sí, asegurando la conexión ecosistémica, por lo que cobra una gran relevancia.

AGRADECIMIENTOS

El Grupo de Investigación en Biodiversidad y Dinámica de Ecosistemas Tropicales de la Universidad del Tolima, agradece a las corporaciones autónomas regionales CARDER, CRQ, CORTOLIMA y CORPOCALDAS por los recursos recibidos para la financiación de este proyecto. En segunda instancia al herbario Joaquin Antonio Uribe (JAUM), por la determinación taxonómica inicial de las especies registradas en los procesos de medición e inventario forestal. Por último a la Oficina de Investigaciones de la Universidad del Tolima, por la financiación del proceso de mantenimiento y remediación de las cuatros unidades de monitoreo permanente.

BIBLIOGRAFÍA

- ALVEAR, M., BETANCOURT, J. & ROSELLI, F., 2010.- Diversidad florística y estructura de remanentes de bosque andino, en la zona de amortiguación del Parque Nacional Natural Los Nevados, Cordillera Central colombiana. *Caldasia* 32 (1): 39-63.
- CAVIEDES, B. M. 1999.- Manual de métodos y procedimientos estadísticos. Universidad Jorge Tadeo Lozano, Bogotá. 67 p.
- CHIARUCCI, A., ENRIGHT, N. J., PERRY, G. L., MILLER, B. P. & LAMONT, B. B. 2003.- Performance of nonparametric species richness estimators in a high diversity plant community. *Diversity and distributions*. 9 (4): 283-295.
- CUESTA, F., PERALVO, M. & VALAREZO, N. 2009.- "Los bosques montanos de los Andes Tropicales. Una evaluación regional de su estado de conservación y de su vulnerabilidad a efectos del cambio climático". Serie Investigación y Sistematización # 5. Programa Regional ECOBONA - INTERCOOPERATION. Quito.
- FINEGAN, B. 1996.- Pattern and process in neotropical secondary rain forests: the first 100 years of succession. *Trends in ecology and evolution* 11: 119-124. (en) GUARIGUATA, M., KATTAN, G. *Ecología y conservación de bosques neotropicales*. Libro Universitario Regional Cartago (Costa Rica).

- GENTRY, A. H., 1988.- Tree species richness of upper Amazon forest. *Proceedings of the National Academy of Sciences* 85: 156-159. (en) GUARIGUATA, M., KATTAN, G. *Ecología y Conservación de Bosques Neotropicales*. Libro Universitario Regional Cartago (Costa Rica).
- GENTRY, A. H. 1995.- Patterns of diversity and floristic composition in neotropical montane Forests: 21-26 (in). CHURCHILL, S. P., BALSLEV, H., FORERO, E. & LUTEYN, J. L. (eds.) *Proceedings of the Neotropical Montane Forest Biodiversity and Conservation Symposium, the NYB*. The New York botanical Garden.
- GÓMEZ, L., LINERA, G. 2006.- *Evaluación de métodos no paramétricos para la estimación de riqueza de especies de plantas leñosas en cafetales*. Sociedad Botánica de México. México.
- GÓMEZ, P., A. WHITMORE, T. C. & HADLEY, M., 1.991.- *Rain forest regeneration and management*. UNESCO and The Parthenon Publishing Group. Man and the Biosphere Series. New Jersey. 457 p.
- HALFFTER, G. 1992. *La diversidad biológica en Iberoamérica I*. CYTED-D. Programa Americano de Ciencia y Tecnología para el Desarrollo. Instituto de Ecología, A. C. México. 388 p.
- HILL, K. & HAMER, K. C., 1998.- Using species abundance models as indicator of hábitat disturbance in tropical forests. *Journal of Applied Ecology*, 35: 458-460.
- JORGENSEN, P. M., & LEON-YANEZ, S. (eds.) 1999.- *Catalogue of the vascular plants of Ecuador*. Missouri Botanical Garden Press. St. Louis.
- JOSSE, C., CUESTA, F., NAVARRO, G., BARRENA, V., CABRERA, E., CHACÓN-MORENO, E., FERREIRA, W., PERALVO, M., SAITO, J. & TOVAR, A., 2009.- *Ecosistemas de los Andes del norte y centro. Bolivia, Colombia, Ecuador, Perú y Venezuela*. Secretaría General de la Comunidad Andina, Programa Regional ECOBONA-Intercooperation, CONDESAN, Proyecto Páramo Andino, Programa BioAndes, EcoCiencia, NatureServe, IAvH, LTA-UNALM, ICAE-ULA, CDC-UNALM, RUMBOL SRL. Lima.
- KESSLER, M., 2002. The elevational gradient of andean plant endemism: Varying influences of taxon-specific traits and topography at different taxonomic levels. *Journal of Biogeography*, 29: 1159-1165.
- KESSLER, M., HERZOG, S. K., & FJELDSA, J., 2001.- Species richness and endemism of plant and bird communities along two gradients of elevation, humidity and land use in the Bolivian Andes. *Diversity and Distribution*, 7: 61-67.
- MAGURRAN, A., 1988.- *Ecology diversity and it's measurement*. Princeton. New Jersey. 179 p.
- MORENO, C. E., 2001.- *Métodos para medir la biodiversidad*. M&T-Manuales y Tesis SEA. Vol. 1. Programa Iberoamericano de Ciencia y Tecnología para el Desarrollo. Oficina Regional de Ciencia y Tecnología para América Latina y el Caribe, UNESCO. Ed. GORFI. Zaragoza, 86 p.
- MYERS, N., MITTERMEIER, R. A., MITTERMEIER, C. G., DA FONSECA, G. A. B., KENT, J., 2000.- Biodiversity hotspots for conservation priorities. *Nature*, 403: 853-858.
- VALAREZO, V. G., GÓMEZ, J., MEJIA, V., CELLERI, Y., 2001.- Plan de manejo de la Reserva de biosfera Sumaco, Fundación Bioparques Tena, Ecuador. 2001.
- VARGAS, W., 2002.- *Guía ilustrada de las plantas de las montañas del Quindío y los Andes centrales*. Universidad de caldas. Manizales.