

Sistema combinado de monitoreo para el análisis estructural y de diversidad en áreas naturales protegidas[@]

Raymundo Villavicencio García¹
Agustín Gallegos Rodríguez
Matthias Dees

Resumen: El monitoreo se fundamenta en un sistema de inventario para la evaluación estructural de bosques y su dinámica en reservas naturales. Los objetivos son el mostrar la importancia y aplicabilidad del sistema combinado de monitoreo conformado por sitios circulares y parcelas cuadradas representativas, así como, obtener datos síntesis para la descripción y comparación cuantitativa, de composición y de diversidad de especies en ecosistemas forestales en áreas naturales protegidas. Se muestrearon e incorporaron a un sistema de información 93 sitios circulares con superficie de 0.05ha y dos parcelas de 1ha. Se determinaron cuatro coberturas vegetales de importancia, predominando con 54.4% el tipo de vegetación de Pino-Encino. Los valores del índice de agregación en las parcelas cuadradas superan el valor a 1 ($R > 1$), por consiguiente se interpreta que la distribución horizontal de los árboles tiende a ser regular. El diseño metodológico se propone para el programa de investigación de planes directrices de áreas protegidas, fortaleciendo los lineamientos nacionales en el monitoreo y fomento de la investigación en estas reservas.

Palabras clave: monitoreo combinado, área natural protegida, México, índices cuantitativos

1. Introducción

Actualmente el sistema nacional de áreas protegidas en México se compone de 150 áreas decretadas y corresponde al 9% de la superficie del territorio. Como áreas destinadas a la conservación de hábitats y ecoregiones es tarea importante tener un conocimiento básico y expedito de los recursos naturales que cada una de éstas posee. Una prioridad es por lo tanto, contar con información, mediante sistemas de monitoreo estandarizado e íntegro, con los que se pueda crear y actualizar base de datos confiables, que apoyen operativa y administrativamente la toma de decisiones para su manejo, así como a la formulación de políticas ambientales (Sánchez 2000). El establecimiento de sitios y parcelas permanentes forman un sistema combinado para la evaluación estructural del bosque y su dinámica. Además proveen datos síntesis cuantitativos, cualitativos, ecológicos y silvícolas. El presente trabajo tiene como objetivo el probar la aplicabilidad del monitoreo combinado en los recursos forestales, como parte de una metodología que ayudará a definir los conceptos y medidas prácticas para la evaluación cuantitativa y cualitativa de árboles y rodales

2. Área de estudio

El trabajo se realizó en el Área de Protección de Flora y Fauna (APFF) “Sierra de Quila”. Geográficamente se sitúa entre los paralelos 20° 14' y 20° 22' latitud norte; 103° 57' y 104° 07'

[@] Trabajo presentado en: Monitoring Science and Technology Symposium: Unifying Knowledge for Sustainability in the Western Hemisphere; 2004 September 20-24; Denver, CO. USA. Cita: Aguirre-Bravo, Celedonio, et. Al. Eds. 2004. Monitoring Science and Technology Symposium: Unifying Knowledge for Sustainability in the Western Hemisphere; 2004 September 20-24; Denver, CO. Proceedings RMRS-P-000. Ogden, UT: U.S. Department of Agriculture, Forest Service, Rocky Mountain Research Station. (en impresión).

R. Villavicencio G. es Profesor-Investigador del Departamento de Producción Forestal. CUCBA-Universidad de Guadalajara. Carretera GDL-Nogales, km 15.5 CP. 45020 Las Agujas, Zapopan, Jalisco, México. Tel./Fax: (+52) 33 3682 0244. email: vgr02072@maiz.cucba.udg.mx

A. Gallegos R. es Profesor-Investigador del Departamento de Producción Forestal. CUCBA-Universidad de Guadalajara. Carretera GDL-Nogales, km 15.5 CP. 45020 Las Agujas, Zapopan, Jalisco, México. Tel./Fax: (+52) 33 3682 0244. email: gra09526@maiz.cucba.udg.mx

M. Dees es Coordinador asistente de GAF AG. Domicilio: Arnulfstr. 197, D-80634 Munich. Tel. (+ 49) 89 121528. email: dees@gaf.de

longitud oeste; abarcando los municipios de Tecolotlán, Tenamaxtlán, San Martín Hidalgo y Cocula en el Estado de Jalisco/México con una extensión cercana a 15,200 hectáreas (fig. 1). Los límites altitudinales varían de 1350m a 2560m. Dentro del APFF se presentan dos tipos de clima, templado húmedo con lluvias en verano y caliente húmedo con larga temporada seca (García 1972). La precipitación promedio anual es de 900mm. Guerrero y López (1997) describen para la Sierra de Quila seis tipos de vegetación, bosque de pino-encino, bosque de encino, bosque tropical caducifolio, bosque mesófilo de montaña, bosque de galería y bosque espinoso. Los subtipos de suelo presente según la clasificación FAO/UNESCO son: *Cambisol eutrico*, *Cambisol húmico*, *Feozem háplico*, *Feozem lúvico*, *Litosol*, *Luvisol crómico*, *Regosol eutrico* y *Vertisol pélico* (CETENAL 1974).

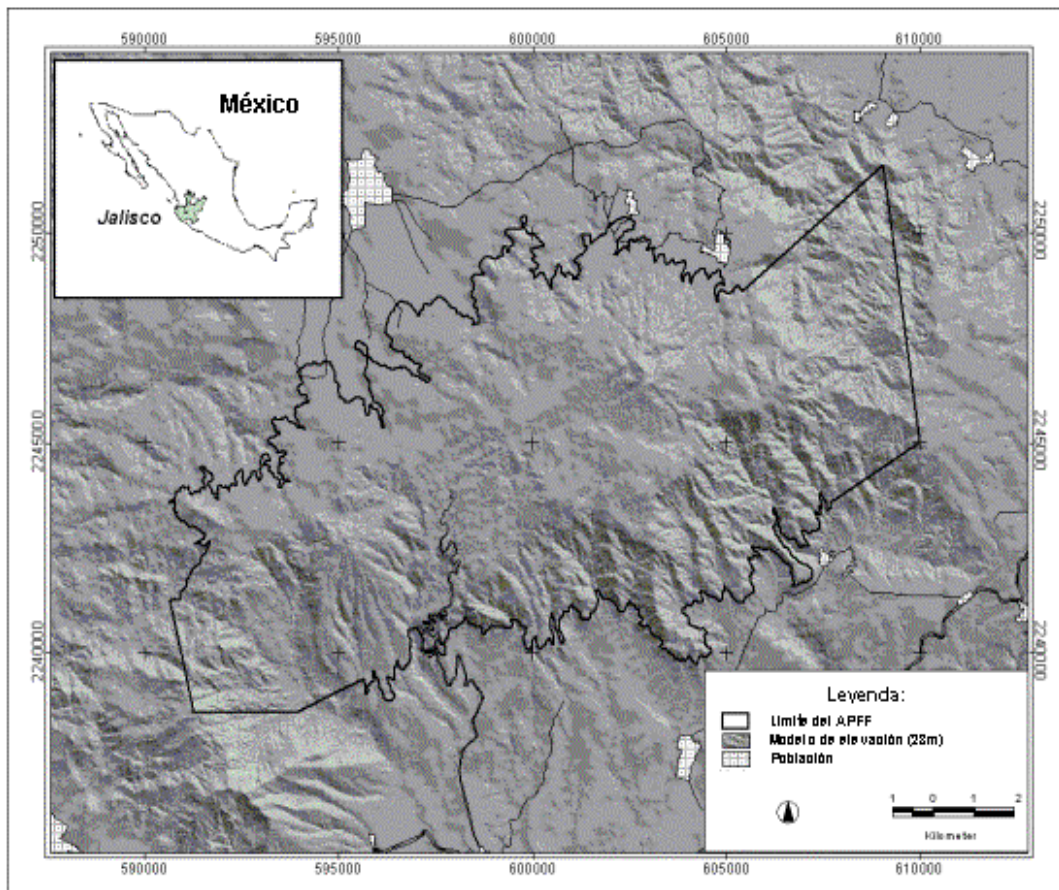


Figura 1 – Localización del Área de Protección de Flora y Fauna “Sierra de Quila” en el Estado de Jalisco, México.

3. Metodología

3.1 Área de investigación y diseño de muestreo

Como área particular de investigación, se seleccionó en la parte media del APFF un transecto rectangular orientado de norte a sur, denominado Área Piloto (AP) y cubre una longitud de 10km por 1.8km de ancho (1571ha) (fig. 2). El AP posee un rango altitudinal de 1500m a 2200m, contiene diferentes tipos de suelo y tiene representados los principales tipos vegetación del APFF. El AP fue cubierto por un vuelo fotogramétrico en el verano de 2001 para obtener fotografía aérea color infrarrojo a escala 1:10000; posteriormente el material original (diapositiva) fue fotointerpretado con un estereoscopio Aviopret APT1. El resultado interpretativo se digitalizó en monitor con ayuda de un programa de Sistemas de Información Geográfica (SIG) y las fotografías aéreas previamente ortorectificadas. Dentro del AP se implantaron sistemáticamente sitios circulares de muestreo distribuidos bajo una red cuadrículada equidistante a 400m entre fila y entre sitios. La red fue definida previamente con

rumbos francos en un SIG, generando un total de 110 sitios. Además se seleccionaron subjetivamente dos parcelas cuadradas representativas del tipo de vegetación de comunidad vegetal de *Pinus-Quercus*, estableciéndose de manera intercalada en la red de sitios circulares.

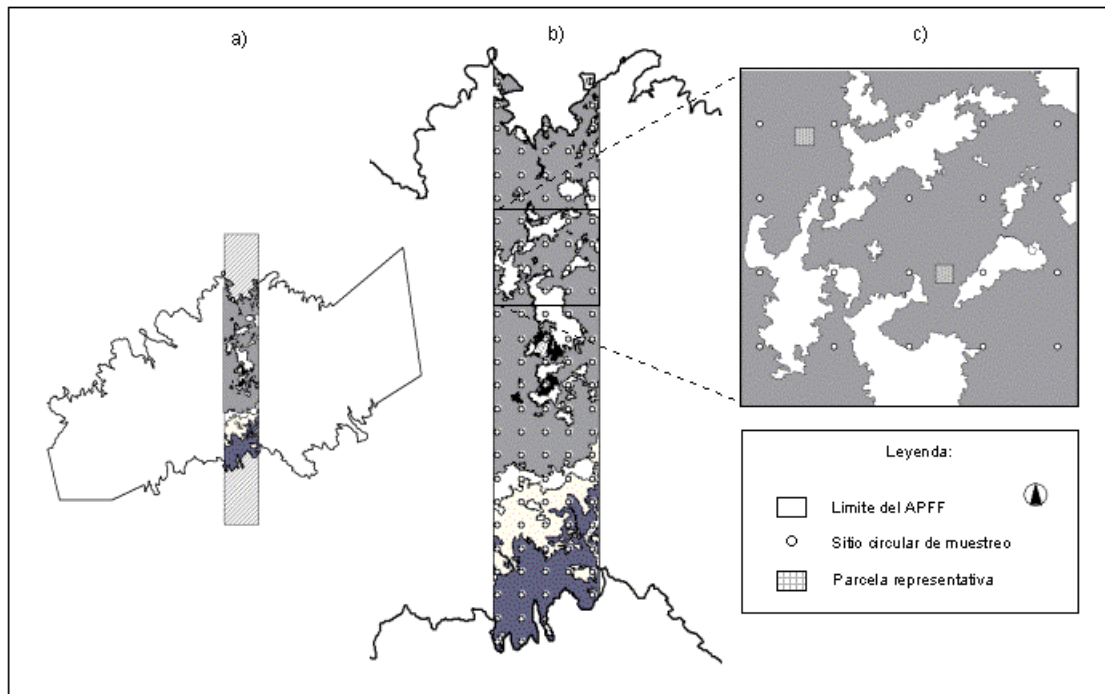


Figura 2 – a) APFF con el trazo de línea de vuelo para obtención de fotografía color infrarrojo, b) Área Piloto y esquema de distribución de sitios circulares, c) Sistema combinado de muestreo con parcelas representativas.

3.2 Sitios circulares permanentes

Durante la fase de fotointerpretación se identificaron cuatro principales tipos de vegetación, mismos que se consideraron como estratos y junto con la sobreposición de la red sistemática de sitios se definió una estratificación con delimitación a posteriori. Los sitios tienen una superficie de 0.05ha y en cada uno de estos fue medido todo árbol $\geq 7\text{cm}$ de d.a.p. La intensidad de parámetros e información de colecta considerados para este estudio corresponde a un nivel intermedio, según lo definen Meyer y otros (2001), donde clasifican tres niveles de intensidad (bajo, intermedio y alto) en la toma de datos terrestres para el monitoreo de la estructura del bosque en reservas naturales. Los sitios fueron evaluados descriptivamente por tipo de vegetación (estrato) mediante operaciones estadísticas, además se aplicaron índices estructurales y de diversidad. Para la estimación de volúmenes de los géneros *Pinus* y *Quercus*, así como de otras hojosas se emplearon las funciones volumétricas que describen Caballero (1972) y Rohman y otros (1994); para el bosque tropical caducifolio fueron utilizados algunos algoritmos obtenidos por Boyas (1992).

3.3 Parcelas representativas

Cada parcela tiene una superficie de 1ha y fue medida completamente con la subdivisión de 25 cuadrantes de 0.04ha. En cada cuadrante se localizó por coordenada cartesiana y midió todo el arbolado mayor o igual a 7cm de d.a.p. Las parcelas representativas fueron evaluadas descriptiva y cualitativamente utilizando el método de muestreo “grupo estructural de cuatro árboles” de

Füldner (1995). Con ayuda de un programa de simulación de muestreo se generó una base de datos y posteriormente se calcularon para cada parcela los índices estructurales de agregación, diferenciación dimensional y mezcla de especies.

3.4 Análisis de datos

3.4.1 Estructura vertical

El análisis de la distribución de especies en contexto vertical fue determinado por el índice del perfil (A) de Pretzsch (1996); para emplear el índice se definen tres pisos altitudinales en la población: piso 1 de 80% a 100% de la altura máxima de la comunidad arbórea; piso 2 de 50% a 80% y piso 3 de 0 a 50%. El índice (A) genera un valor 0 hasta un valor máximo (A_{max}). Un valor $A = 0$ significa que la comunidad arbórea esta representada por una sola especie, además de estar formada en un solo piso. El valor máximo (A_{max}) se obtiene cuando el total de las especies están representadas en igual proporción en los diferentes pisos; su calculo se obtiene de la siguientes formulas:

$$A = - \sum_{i=1}^S \sum_{j=1}^Z p_{ij} \cdot \ln(p_{ij})$$

$$A_{max} = \ln(S \cdot Z)$$

donde:

S : número de especies presentes

Z : número de pisos de altura

P_{ij} : proporción de especies en los pisos de altura $p_{ij} = N_{ij}/N$

N_{ij} : número de individuos de la especie (i) en el piso (j)

N : número total de individuos

3.4.2 Estructura horizontal

La distribución espacial de cada árbol en la población fue obtenida del índice de agregación (R) de Clark y Evans (Clark y Evans 1954 citado en Pommerening 2001). Los valores de (R) tienen un intervalo de 0 hasta 2.15; los resultados se clasifican como: $R > 1$ (denota una tendencia de distribución regular), $R = 1$ (demuestra una tendencia de distribución aleatoria) y $R < 1$ (indica una tendencia al agrupamiento). Su cálculo se determina utilizando la siguiente ecuación:

$$R = \frac{\bar{r}_{observada}}{\bar{r}_{estimada}}$$

donde:

R : Índice de agregación

$\bar{r}_{observada}$: Distancia media observada por árbol con respecto a sus próximos vecinos: $\frac{1}{N} \sum_{i=1}^N r_i$

$\bar{r}_{estimada}$: Distancia media estimada con localización completamente al azar: $\frac{1}{2 \cdot \sqrt{\frac{N}{A}}}$

N : número de árboles

A : superficie de área de muestreo

3.4.3 Diferenciación dimensional

La diferenciación dimensional describe la heterogeneidad en diámetro de un árbol (Árbol cero) con respecto a sus árboles vecinos en una escala continua y como base son tomados los d.a.p. de las especies (Pommerening 2001). Para el cálculo, son sumados todos los valores de la diferenciación dimensional (T_i) por cada grupo estructural de cuatro árboles y dividido por el total de árboles en la población. Cuando la diferenciación dimensional (T_i) es igual a 0, se interpreta que los árboles tienen o pertenece a la misma clase de diámetro. Por lo anterior, el

aumento en los valores de la diferenciación dimensional (T_i) significa un incremento en tamaño con respecto a los árboles vecinos; definiéndose la siguiente clasificación: 0.0 – 0.3 (diferenciación baja o débil), 0.3 – 0.5 (diferenciación media), 0.5 – 0.7 (diferenciación alta) y 0.7 – 1.0 (diferenciación muy alta). El cálculo se obtiene utilizando:

$$T_i = 1 - \frac{1}{n} \sum_{j=1}^n \frac{\min(DAP_i, DAP_j)}{\max(DAP_i, DAP_j)}$$

donde:

T_i = Diferenciación diamétrica

DAP = Diámetro a la altura del pecho (cm)

3.4.4 Índice de mezcla de especies

El índice refiere para cada árbol ($i = 1 \dots N$) y sus tres próximos vecinos ($j = 1, 2, 3$) la posibilidad de que el árbol vecino no pertenezca a la misma especie (Füldner 1995; Pommerening 2001). La interpretación de los valores obtenidos del índice se distribuyen en cuatro categorías: 0.00 (todos los árboles pertenecen a la misma especie), 0.33 (un árbol pertenece a otra especie), 0.67 (dos de tres vecinos pertenecen a otra especie) y 1.00 (los tres árboles pertenecen a distintas especies). Los valores se determinan utilizando:

$$M_i = \frac{1}{n} \sum_{j=1}^n v_{ij}$$

donde:

v_{ij} = (0, j-avo vecino pertenece a la misma especie; 1, j-avo vecino pertenece a otra especie).

3.4.5 Índices de diversidad y de importancia ecológica

Para la estimación y análisis de la diversidad, riqueza y afinidad de especies se emplearon los índices de Shannon, Evenness, Simpson, Margaleff y Sørensen (tabla 1). La composición de especies por tipo de vegetación y parcelas representativas se determinó con el índice de importancia ecológica (IVI *Importance Value Index*), que es el producto de la suma de valores relativos de la abundancia, la dominancia y la frecuencia.

Tabla 1 - Índices de diversidad, riqueza y afinidad de especies		
Shannon (H')	$H' = -\sum_{i=1}^S P_i \cdot \ln(P_i)$	S : número de especies presentes P_i : proporción de las especies $P_i = n_i / N$ n_i : número de individuos de la especie i N : número total de individuos
Evenness (E)	$E = \frac{H'}{\ln(S)}$	H' : Índice de Shannon S : número de especies
Simpson (D)	$D = \sum \frac{(n_i(n_i - 1))}{(N(N - 1))}$	n_i : número de individuos N : número total de individuos
Margaleff (D_{mg})	$D_{mg} = (S - 1) / \ln N$	S : número de especies N : número total de individuos
Sørensen (C_N)	$C_N = 2 \cdot J_N / (aN + bN) \cdot 100$	J_N : número de especies encontradas en ambas localidades aN : número de especies de la parcela 1 bN : número de especies de la parcela 2

4. Resultados

4.1 Fotointerpretación

Se determinaron cuatro coberturas vegetales de importancia dentro del AP, predominando con 54.4% el tipo de vegetación de *Pinus* y *Quercus*. La tabla 2, muestra la superficie absoluta y relativa por tipo de cobertura vegetal.

Tipo de vegetación	Superficie (ha)	Superficie (%)
Bosque de <i>Pinus</i> y <i>Quercus</i>	855.5	54.4
Bosque de <i>Quercus</i> y <i>Pinus</i>	262.0	16.7
Bosque de <i>Quercus</i>	158.9	10.1
Bosque tropical caducifolio	240.7	15.3
Otra cobertura	54.2	3.4
Total	1571.3	100

En los subsiguiente se describirán los resultados basados únicamente por cada tipo de vegetación (96.6% de la superficie total) señalados en la tabla anterior, omitiendo de esta manera la superficie de áreas no significativas (Otra cobertura).

4.2 Sitios circulares

Se establecieron 93 sitios circulares permanentes, cubriendo una intensidad de muestreo de 0.3%. Donde se registraron 33 especies distribuidas en 16 géneros y 14 familias con un promedio de 633 árboles por hectárea con respecto a la población (N). El género de mayor frecuencia lo representa *Quercus* (52%), el género *Pinus* aparece en segundo con 36%; apareciendo en orden de importancia las siguientes especies: *Quercus resinosa* con 41.5%, *Pinus lumholtzii* y *Pinus douglasiana* con 15.7 y 11.5% respectivamente. La tabla 3, muestra la descripción a detalle por tipos de vegetación por grupo de árboles siguiendo un análisis estratificado.

Bosque de <i>Pinus</i> y <i>Quercus</i>					Bosque de <i>Quercus</i> y <i>Pinus</i>				
Género	Especies	N ^a /ha	G ^b /ha (m ²)	V ^c /ha (m ³)	Género	Especies	N ^a /ha	G ^b /ha (m ²)	V ^c /ha (m ³)
<i>Pinus</i>	4	294	11	151	<i>Pinus</i>	4	194	7.8	67.6
<i>Quercus</i>	9	381	6.71	72.5	<i>Quercus</i>	9	372	9.4	69.6
Otras hojasas	7	32	0.6	5.1	Otras hojasas	4	49	1.4	8.1
Bosque de <i>Quercus</i>					Bosque tropical caducifolio				
Género	Especies	N ^a /ha	G ^b /ha (m ²)	V ^c /ha (m ³)	Género	Especies	N ^a /ha	G ^b /ha (m ²)	V ^c /ha (m ³)
<i>Quercus</i>	4	395	15.2	102.1	Otras hojasas	12	438	7.3	22.0
Otras hojasas	4	160	6.3	55.2					

^a número de árboles, ^b área basal, ^c Volumen

La información de campo por cada sitio basada primeramente en la medición del punto central del círculo de muestreo con un GPS (Global Positioning System), así como los datos SIG colectados en cada uno de estos, fueron almacenados en forma de tablas y vinculados a un SIG, como lo muestra la figura 3; para ello fue necesario contar con los siguientes datos del sitio: número de

sitio, radio y ubicación geográfica, además la especie de cada árbol y el número correspondiente asignado, el azimut en gon y la distancia de cada árbol con respecto al centro del círculo.

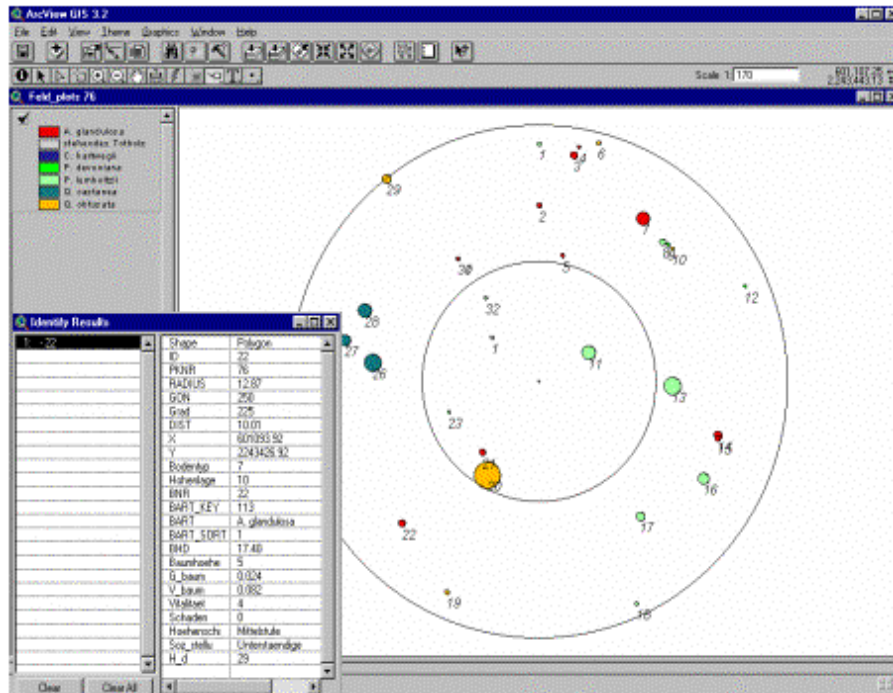


Figura 3 – Vinculación de la información por sitio de muestreo y sus respectivos datos con un sistema de información geográfica.

4.2.1 Estructura horizontal

Las áreas basales entre las comunidades vegetales oscilan entre 7.3 y 21.5m²/ha. La comparación estructural horizontal con base en la distribución porcentual por clase diamétrica, muestran para todos los tipos de vegetación un comportamiento decreciente (J-invertida), siendo esta representación característica dentro de comunidades arbóreas multietáneas, donde la cantidad de árboles se reduce con respecto al aumento del d.a.p. (fig. 4).

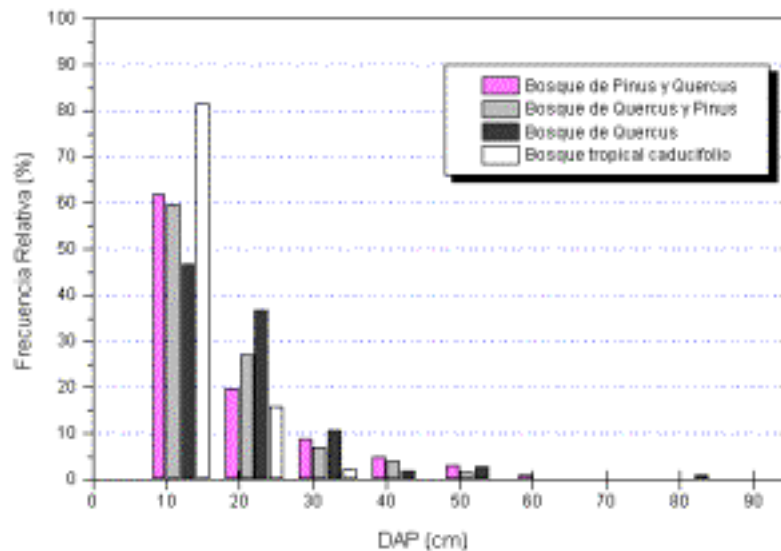


Figura 4 - Distribución porcentual del arbolado por clase diamétrica.

4.2.2 Estructura Vertical

En la distribución vertical de especies por tipo de comunidad vegetal, resalta la población del bosque tropical caducifolio, la cual está formada con el 61.1% en el piso de altura intermedio. La población del bosque de *Quercus* se encuentra configurada en un 40.5% por un piso inferior, mientras que un porcentaje relativamente alto (29%) lo presenta el bosque de *Pinus* y *Quercus* para el dosel superior (tabla 4).

Piso	Formación			
	Bosque de <i>Pinus</i> y <i>Quercus</i>	Bosque de <i>Quercus</i> y <i>Pinus</i>	Bosque de <i>Quercus</i>	Bosque tropical caducifolio
Superior (80-100%)	29.0	18.4	11.7	13.1
Intermedio (50-80%)	41.6	54.9	47.7	61.1
Inferior (0-50%)	29.3	26.7	40.5	25.7
Total	100	100	100	100

La tabla 5, muestra los valores obtenidos del índice de perfil vertical de especies (A) para cada tipo de comunidad. El índice más bajo ($2.39 = 75.4\%$ de A_{max}) para un tipo de vegetación con ocho especies lo presenta el bosque de *Quercus*. Los mayores valores de (A), los obtienen las comunidades cuyo número de especies son distribuidas proporcionalmente en cada piso de altura, como lo fue en este estudio para el bosque tropical caducifolio ($2.87 = 82.2\%$ de A_{max}), donde muestran un valor porcentual relativamente alto con respecto al valor máximo, significando una alta heterogeneidad de especies distribuidas verticalmente en los tres pisos de altura.

Tipo de vegetación	N	A (%)	A_{max} (%)
Bosque de <i>Pinus</i> y <i>Quercus</i>	2297	2.79 (70.1)	3.98 (100)
Bosque de <i>Quercus</i> y <i>Pinus</i>	461	2.57 (68.9)	3.73 (100)
Bosque de <i>Quercus</i>	111	2.39 (75.4)	3.17 (100)
Bosque tropical caducifolio	175	2.87 (82.2)	3.49 (100)
Población	3044	3.06 (67.1)	4.56 (100)

4.2.3 Diversidad e importancia ecológica

El valor del índice de Shannon aumenta conforme incrementa el número de especies y la proporción de las misma es homogénea, además del número de especies, es importante también la frecuencia con que están representadas. El índice de Shannon da un gran peso al número de especies presentes en una comunidad, sin embargo el índice de uniformidad (Evenness) da a conocer el reparto de las especies en proporciones sin que influya el número de especies (del Río y otros 2003). El índice de Simpson se recarga a las especies mas abundantes de la muestra, mientras que es menos sensibles a la riqueza de especies (Magurran 1988). El índice de Margaleff mide la riqueza de las especies sin darle valor a la abundancia de los individuos. En este trabajo, el bosque tropical caducifolio demuestra los valores más altos en riqueza de especies, según el valor de Shannon (2.0); sin embargo, el valor del índice de Simpson (6.65) y el índice de uniformidad de Evenness (0.84), indican que no es el más alto en abundancia de especies. El valor mínimo obtenido de los índices de Shannon (1.57) y de Margaleff (1.49) lo presenta el bosque de *Quercus* (tabla 6). Las tres especies principales que representan el valor porcentual del índice de importancia ecológica más alto por tipo de vegetación son: en el bosque de *Pinus* y *Quercus*, *Quercus resinosa*, *Pinus douglasiana* y *P. lumholtzii*. En el bosque de *Quercus* y *Pinus* lo ocupan *Quercus resinosa* seguido de *Pinus douglasiana*, y *Arbutus*

xalapensis. En el bosque de *Quercus* se encontró a *Quercus resinosa*, *Q. magnoliifolia* y *Acacia pennatula*. En el bosque tropical caducifolio lo ocupan las especies *Acacia pennatula*, *Eysenhardtia polystachya* e *Ipomea murucoides*.

Vegetación \ Índice	Shannon	Evenness	Simpson	Margaleff
Bosque de <i>Pinus</i> y <i>Quercus</i>	1.84	0.61	4.13	2.45
Bosque de <i>Quercus</i> y <i>Pinus</i>	1.68	0.59	3.3	2.61
Bosque de <i>Quercus</i>	1.57	0.76	3.65	1.49
Bosque tropical caducifolio	2.0	0.84	6.65	2.13

4.3 Parcelas representativas

La figura 5, ilustra la distribución espacial del arbolado por parcela, los círculos representan el arbolado basado en el d.a.p. de manera sobredimensionada. La parcela 1 se encuentra expuesta a la influencia humana debido a su cercanía con nacimientos naturales de agua, la cual le hace ser muy concurrida por visitantes. La composición arbórea esta representada por el género *Pinus* (54%) alternado con *Quercus* (41%) y otras hojosas principalmente del género *Arbutus* con 5%.

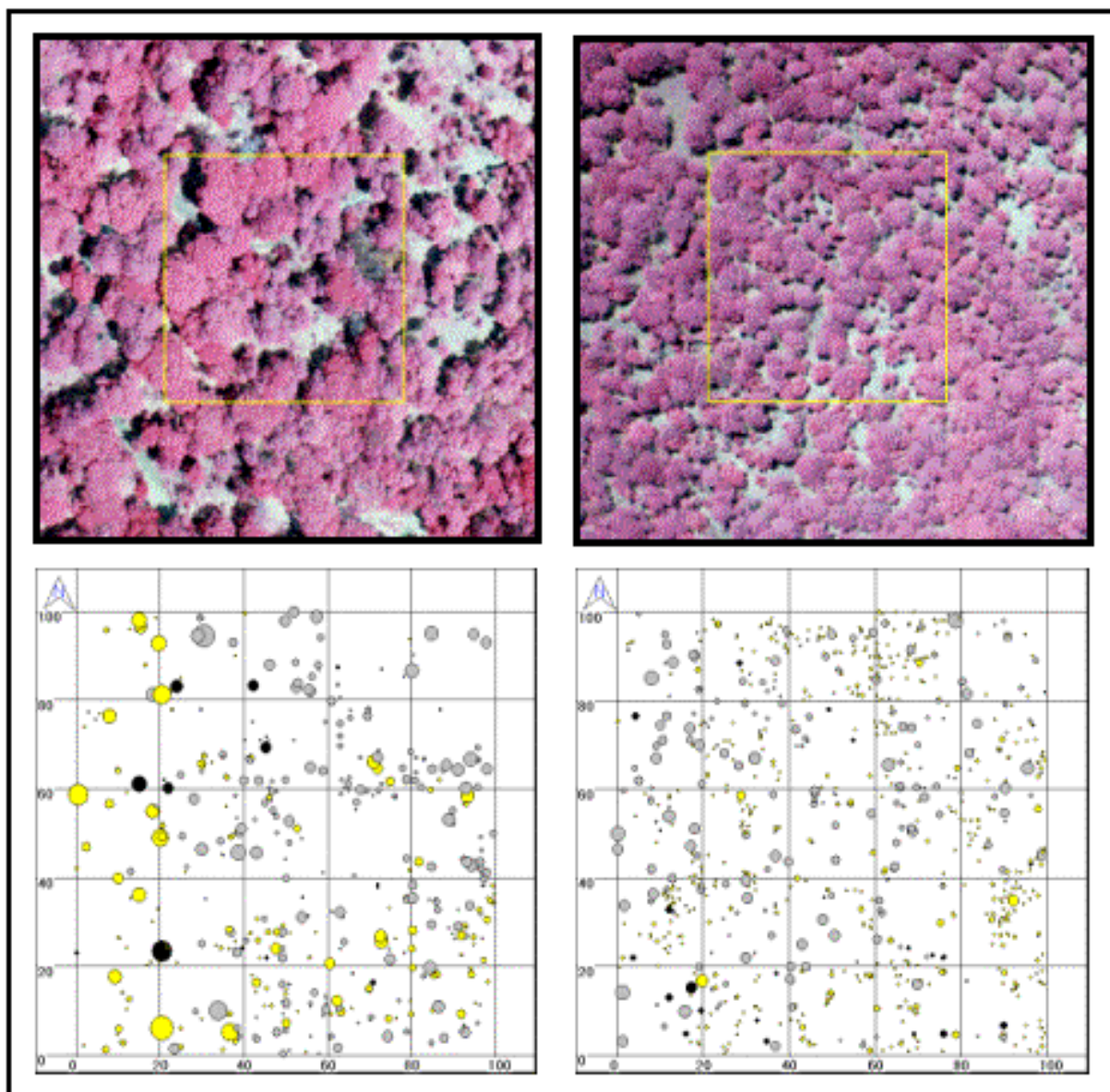


Figura 5 – Ubicación de parcelas representativas sobre fotografía aérea y presentación gráfica; los árboles del género *Pinus* aparecen en círculo (d.a.p. sobredimensionado) gris, *Quercus* en amarillo y otras hojosas en negro.

La parcela 2 se encuentra ubicada en un paraje ecológicamente más estable. Con 67% le representa el género *Quercus*, seguida de *Pinus* (28%) y otras hojosas con 4%. En la parcela 1 se registraron 14 especies, en la parcela 2 solo ocho. De acuerdo al coeficiente de afinidad de especies de Sørensen se estimó un índice de similitud del 73% entre ambas parcelas. La densidad del arbolado en la parcela 1 es de 435 árboles y en la parcela 2 de 822 individuos; sin embargo, esta diferencia no se refleja de igual manera en el área basal, atribuyéndose a que el 70% de los individuos en la parcela 2 se encuentran dentro de una categoría diamétrica pequeña ($G \text{ (m}^2\text{)}$) (tabla 7).

Tabla 7 - Parámetros dasométricos por parcela representativa por grupo de árboles.									
Parcela 1					Parcela 2				
Género	Especies	N	G (m ²)	V (m ³)	Género	Especies	N	G (m ²)	V (m ³)
<i>Pinus</i>	4	235	17	170.8	<i>Pinus</i>	3	236	14.9	118.9
<i>Quercus</i>	6	177	10.9	110.4	<i>Quercus</i>	3	553	7.2	47.4
Otras hojosas	4	23	1.7	11.9	Otras hojosas	2	33	1.2	6.5
Total	14	435	29.6	293.1	Total	8	822	23.3	172.8

4.3.1 Estructura horizontal

Los valores obtenidos del índice de agregación de Clark y Evans para ambas parcelas superan el valor mayor a 1 ($R > 1$), para la parcela 1 (1.246) y para la parcela 2 (1.23) por lo tanto, se interpreta que la distribución horizontal de los árboles tiende a ser regular.

4.3.2 Estructura vertical

La distribución vertical de las especies en la parcela 1 presenta una relativa homogeneidad, principalmente en su último piso de altura, ya que el 45.5% de todos los árboles se ubican en un piso alto (1), el 28.9 % en un piso medio (2), y finalmente el 25.5 % se sitúan en el piso 3 (bajo). Como especie dominante en los tres pisos sobresale *Pinus oocarpa*, además, de las 14 especies que componen esta parcela, ocurren como mínimo 10 especies por cada piso, los que generan un valor del índice del perfil vertical (A) de 2.52, es decir, el 72 % correspondiente al valor máximo (3.5) obtenido para esta parcela, indicando un valor porcentual alto de diversidad de especies distribuidas verticalmente en sus tres pisos.

La parcela 2 tiene una distribución de especies en el piso superior con 23.8%, en el piso intermedio 39.3% y 36.8% en el piso inferior; a pesar de ser una parcela dominada en frecuencia por el género *Quercus*, el dosel superior es cubierto por *Pinus oocarpa* (73%). Para esta parcela representada por ocho especies, obtuvo una distribución vertical de acuerdo al índice (A) de 1.76 ($A_{max} = 3.0$).

4.3.3 Diferenciación dimensional

El valor promedio del índice de diferenciación para la parcela 1 registró 0.4254 interpretándose como una clase de diferenciación media, ya que el 50% de la población obtuvo esta clase (0.3-0.5). En esta misma parcela, cerca de 25% de la población supera los 40cm de d.a.p. por lo que esta condición es reflejado en los valores de diferenciación alta (25%) y muy alta (4%). Para la población de la parcela 2 el valor promedio fue de 0.361, distribuyéndose con 40% en una categoría de diferenciación débil (0.0-0.3) y en otro 40% en una clase de diferenciación media (0.3-0.5) atribuido a la alta densidad del arbolado y por ende a su competencia. (tabla 8).

4.3.4 Índice de mezcla de especies

El valor promedio del índice de mezcla de especies para la parcela 1 fue de 0.457, interpretándose que dentro de un grupo estructural de cuatro árboles, un árbol pertenece a otra especie; la distribución de clases muestra que un 27% del grupo estructural en la población pertenecen a una misma especie, el 51% posee uno o dos vecinos de distinta especie (0.33-0.67) y solo el 21% ocurre de manera única; por lo contrario en la parcela 2, conforma grupos de estructuras de manera pura o con una misma especie con 40% y en su otro extremo solo el 14% ocurren con que todos los vecinos son distintos en especie (tabla 8).

Tabla 8 - Descripción estructural e histogramas de diferenciación diamétrica y mezcla de especies.

Parcela 1		Parcela 2	
R^a	1.246		1.23
T_i^b	0.4254		0.361
M_i^c	0.457		0.361
^a Índice de agregación; ^b Diferenciación diamétrica; ^c Índice de mezcla de especies			

4.3.5 Diversidad e importancia ecológica

En la parcela 2 ocurre el 60% de las especies registradas en la parcela 1, porcentaje que es reflejado con el valor de diversidad de Shannon (2.07), sin embargo, caso contrario en términos de abundancia, la parcela 1 registró el 53% del total de individuos encontrados en la parcela 2, por lo que el índice de Simpson presenta un valor moderadamente elevado (3.09).

El valor de importancia de las especies por parcela esta referida en la abundancia, la dominancia y la frecuencia; para esta última, se estimó un valor de 7.1% para cada una de las especies en la parcela 1 y 12.5% para las especies de la parcela 2, por considerarse como áreas de dimensión única de muestreo. El índice permite interpretar las semejanzas estructurales entre especies en una población. Los resultados para la parcela 1 indican que la especie *Pinus oocarpa* tiene una dominancia tanto en estado de desarrollo (52% del área basal) y peso ecológico 112% del valor total del índice, así como, en la abundancia, donde predomina con 53%, seguido de *Quercus obtusata* con 14.3%. *Quercus castanea* es la segunda especie en importancia en esta parcela. En la parcela 2 ocurre *Quercus resinosa* con 66% como principal especie en abundancia, seguida de *Pinus oocarpa* con 28%; sin embargo, los lugares se invierten para estas dos especies cuando se describe la dominancia en superficie que ocupa cada una de ellas, lo que significa que *Pinus oocarpa* abarca el 62% y *Quercus resinosa* el 30%, lo que pudiera responde al parejo valor de equilibrio que presentan ambas especies en esta comunidad (fig. 6).

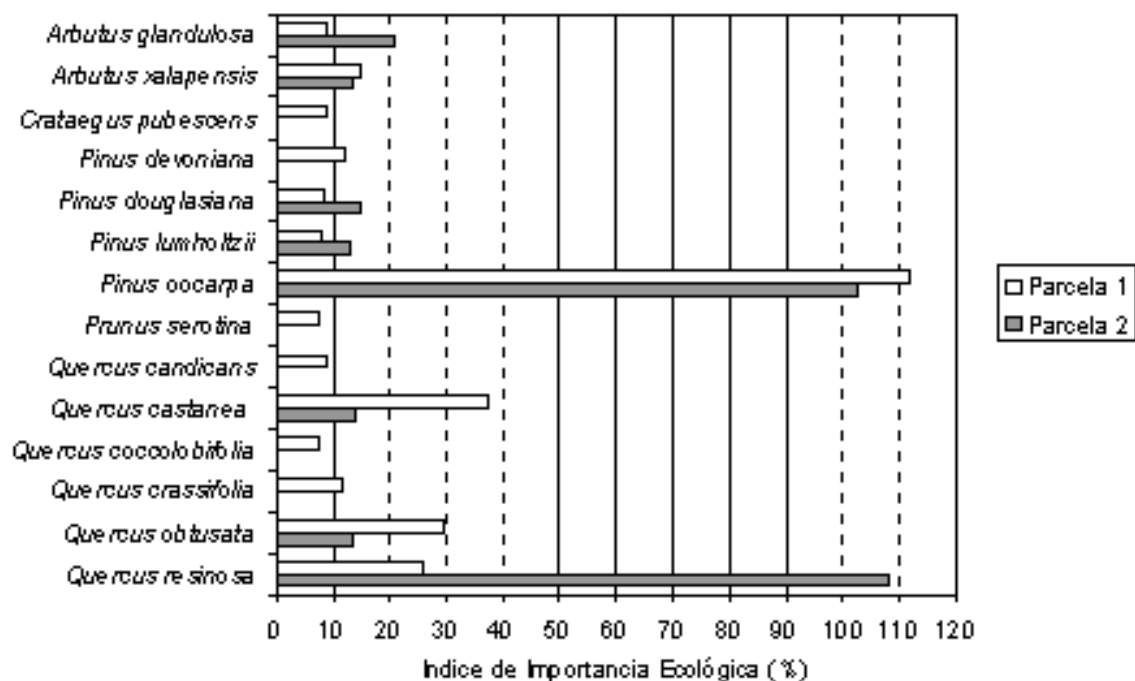


Figura 6 - Índice de valor de importancia ecológica en ambas parcelas.

5. Conclusiones

- De la red de sitios circulares establecidos en el AP se registraron de manera general 33 especies distribuidas en 16 géneros y 14 familias, los géneros de mayor frecuencia fueron *Quercus* (52%) y *Pinus* (36%); las principales especies por su peso ecológico en el tipo de comunidad vegetal predominante (Bosque de *Quercus-Pinus*) son: *Quercus resinosa*, *Pinus lumholtzii* y *P. douglasiana*, así como, *Acacia pennatula*, *Eysenhardtia polystachya* e *Ipomea murucoides* en el bosque tropical caducifolio (15% de cobertura del total del AP). Sin embargo se debe considerar la ampliación y distribución objetiva de la red de sitios en toda el APFF, lo que permitirá registrar especies o comunidades arbóreas que en el AP, por el tipo de suelo, exposición, distribución, altura y otros factores ecológicos y ambientales no fueron observadas. La estructura vertical de los árboles está relacionada con el tamaño y vigor de sus copas, lo que genera diferentes ritmos de crecimiento y condiciones de competencia, tal como lo presentó la parcela 1, con un piso de altura dominante debido a presencia de individuos maduros; caso contrario a la parcela 2, que presentó una caracterización estructural de individuos jóvenes concurrendo por espacios y caracterizando un amplio rango en alturas. La estructura horizontal en ambas parcelas presentó una tendencia de distribución regular, sin ser demasiado significativa a una distribución aleatoria, a pesar de que ambas presentan fases de desarrollo y competencia diferentes.
- El establecimiento de redes de monitoreo combinado permanente en áreas naturales protegidas funcionan como fuente de información sobre la composición, estructura y diversidad, por lo que con su conocimiento permite identificar los diferentes procesos que suceden en cada etapa de desarrollo de las comunidades arbóreas, coadyuvando a decisiones de planeación y desarrollo de actividades de manejo y conservación de las mismas.
- El concepto de monitoreo de sitios y en especial de parcelas representativas no debe únicamente ser enfocado en el marco de las tareas aquí descritas, sino que deben considerarse otros atributos del ecosistema forestal como la biomasa, la fauna, el agua, el clima e incluso aspectos de educación ambiental, entre otros. Dichas actividades de investigación deben de ser desarrolladas y evaluadas a través de grupos interdisciplinarios.

6. Literatura

- Aguirre, C. Oscar; Jiménez, P. J. 1999. Evaluación y análisis de la estructura de ecosistemas forestales. In: Bravo, Celedonio; Rodríguez, F. Carlos. (Comp.): Memories of the North American Science Symposium. Toward a Unified Framework for Inventorying and Monitoring Forest Ecosystem Resources. Guadalajara, México. pp. 416-420.
- Bauche, P. Paola 2003. Estudio de la diversidad de comunidades arbóreas en el Área de Protección de Flora y Fauna "Sierra de Quila", Estado de Jalisco. Tesis Licenciatura, Centro Universitario de Ciencias Biológicas y Agropecuarias, Universidad de Guadalajara. 72 p.
- Boyas, D. J. Carlos. 1992. Determinación de la productividad, composición y estructura de las comunidades arbóreas del Estado de Morelos en base a unidades ecológicas. Tesis de Doctorado. Facultad de Ciencias. Universidad Nacional Autónoma de México: 219-221.
- Caballero, D. Miguel. 1972. Tablas y tarifas de volúmenes. Secretaría de Agricultura y Ganadería. Subsecretaría Forestal y de la Fauna. Nota Instituto Nacional Forestal. 4.2.1. No. 7
- CETENAL 1974. Carta Edafológica 1:50000. Carta Atengo (F13D73), Cocula (F13D74) y Tecolotlán (F13D83). Comisión de Estudios del Territorio Nacional. Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática. México.
- Del Río, M.; Montes, F.; Cañellas, I.; Montero, G. 2003. Revisión: Índices de diversidad estructural en masas forestales. *Investigación Agraria. Sistema Recursos Forestales* 12 (1): 159-176.
- Füldner, Kai. 1995. Strukturbeschreibung von Buchen-Edellaubholz-Mischwäldern. Dissertation, Forstliche Fakultät der Universität Göttingen, Cuvillier Verlag Göttingen: 30-38.
- Füldner, Kai. 1995a. Zur Beschreibung in Mischbeständen. *Forstarchiv* 66: 235-240.
- García, Enriqueta. 1972. Modificaciones al Sistema de Clasificación Climática de Köppen. Universidad Nacional Autónoma de México. 246 p.
- Guerrero, N. J. Jesús; López, C. Guadalupe. 1997. La vegetación y la flora de la Sierra de Quila, Jalisco. Universidad de Guadalajara. México. 91 p.
- Jiménez, P. Javier; Aguirre, C. Oscar; Kramer, Horst. 1998. Bestandesstrukturanalyse im ungleichaltrigen Kiefern-Wacholder-Eichen-Mischwald Nordostmexikos. *Forstarchiv* 69: 227-234
- Lübbers, Paul. 1997. Diversitätsindizes und Stichprobenverfahren. Abteilung Forstliche Biometrie, Universität Freiburg. In: Pelz, Dieter. (Hrsg.): Deutscher Verband Forstlicher Forschungsanstalten, Sektion Biometrie und Informatik (10. Tagung; 1997, Freiburg): 50-58.
- Magurran, Anne. 1988. Diversidad ecológica y su medición. Ediciones Vedral. España: 3-183
- Meyer, Peter; Ackermann, Jörg; Balcar, Patricia; Boddenberg, Jürgen; Förster, Bernhard; Fuchs, Hans; Hoffmann, Birgit; Keiter, Walter; Kölbl, Markus; Köthke, Christine; Koss, Harald; Unkrig, Wilhelm; Weber, Jochen; Willig, Jürgen. 2001. Untersuchung der Waldstruktur und ihrer Dynamik in Naturwaldreservaten. IHW-Verlag. 107 p.
- Neumann, Markus; Starlinger, Franz. 2001. The significance of different indices for stand structure and diversity in forest. *Forest Ecology and Management*: 91-106.
- Päivinen, Risto; Lund, H. Gyde; Poso, Simo; Zawila-Niedzwiecki, Tomasz. (Eds.) 1994. IUFRO International Guidelines for Forest Monitoring. IUFRO World Series Vol.5. Vienna. 102 p.
- Pommerening, Arnold. 1997. Eine Analyse neuer Ansätze zur Bestandesinventur in Strukturreichen Wäldern. Dissertation, Forstliche Fakultät der Universität Göttingen, Cuvillier Verlag, Göttingen. 150 p.
- Pommerening, Arnold 2001. Describing and interpreting forest structures. *Waldinventur, Waldwachstum und Forstplanung. Festschrift. Zohab-Verlag*: 73-89.
- Pretzsch, Hans. 1996. Strukturvielfalt als Ergebnis waldbaulichen Handels. Deutscher Verband Forstlicher Forschungsanstalten. Sekt. Ertragskunde. Jahrestagung 1996. Nehresheim: 134-154.
- Romahn, V. C. Francisco; Ramírez, M. Hugo; Treviño, G. J. Luis. 1994. Dendrometría. Universidad Autónoma de Chapingo. México. 193 p.
- Rondeux, Jacques. 1999. Inventarios forestales y biodiversidad. *Unasylva* No. 196. Vol. 50. FAO, Roma.

Sánchez, V. Eduardo. 2000. Áreas naturales protegidas. En: Villavicencio, G. Raymundo (Comp.) Memorias: Curso sobre manejo de ecosistemas forestales en áreas naturales protegidas. 13 abril a 14 mayo de 2000. Centro Universitario de Ciencias Biológicas y Agropecuarias, Universidad de Guadalajara.

Villavicencio, G. Raymundo. 2004. Kartierung von Vegetationsstrukturen und deren Veränderung in Naturschutzgebieten mit Hilfe von Fernerkundung und terrestrische Inventurverfahren –dargestellt am Beispiel des Schutzgebietes für Flora und Fauna “Sierra de Quila” im Bundesstaat Jalisco im Westen Mexikos. Cuvillier Verlag Göttingen. 161 p.