

ESTRATIFICACION VERTICAL DE UNA SELVA MEDIANA SUBPERENNIFOLIA EN SAN FELIPE BACALAR, QUINTANA ROO

V. Sánchez-Monsalvo; F.J. Zamudio-Sánchez

División de Ciencias Forestales de la Universidad Autónoma Chapingo. Chapingo, México C.P. 56230.

RESUMEN

Se analizó la estratificación vertical en 532 ha de selva del Campo Experimental "San Felipe Bacalar", Q. Roo. Utilizándose una muestra de 130 sitios de 1000 m² cada uno. La identificación de los estratos se llevó a cabo mediante la técnica de agrupamiento multivariado, utilizando las variables altura total (AT), diámetro a la altura de pecho (DAP) y la variable combinada (AD2), la cual resulta de la multiplicación de AT por (DAP)². Con el agrupamiento se identificaron seis grupos, los cuales se correlacionaron significativamente con el primer componente principal, que representó un 75% de la variación total en un análisis de componentes principales. Con el objeto de describir el paso de una especie a través de los estratos, se modeló la presencia de las mismas en cada metro de altura de la selva, mediante la función acumulativa de la distribución Weibull. Con la derivación de esta función se obtuvieron parámetros ecológicos que están ligados con el potencial de regeneración, forma biológica y posición sociológica de cada especie estudiada. Finalmente, se elaboró un "índice de dominancia vertical" (IDV), basado en el índice de dominancia de Sarukhán (1968), con el objeto de analizar la dominancia de las especies en cada metro de altura. Como resultado, fueron ocho las especies con el mayor IOV: *Chrysophylla argentea* a 1 m de altura, *Piper* sp. entre 2 y 3 m, *Trichilia minutiflora* entre 4 y 5 m, *Sabaljapa* entre 6 y 7 m, *Alseis yucatanensis* a 8 m, *Spondias mombin* entre 9 y 17 m, *Bourreria oxyphyllaria* a 19 m y *Cedrela odorata* entre 18 y 23 m de altura.

PALABRAS CLAVE: Sinecología, eco unidades, regeneración.

VERTICAL STRATIFICATION OF A MEDIUM SUB-PERENNIAL TROPICAL FOREST IN SAN FELIPE BACALAR, QUINTANA ROO.

SUMMARY.

The vertical stratification of 532 ha of tropical forest of the Experimental Station "San Felipe Bacalar", Quintana Roo, was analyzed using samples from 130 sites measuring 1 000 m² each. Identification of the strata was done with the multivariate clustering technique, using the variables: total height (TH), diameter at breast height (OBH), and a combination of the two (H02), resulting from the multiplication of TH by (OBH)². Six groups were identified, each of which correlated significantly with the first principal component which represented 75% of the total variation in a principal component analysis. With the aim of describing the path of the species across the strata, their presence was modeled using Weibull's cumulative distribution function. With this function, ecological parameters were obtained, associated with regeneration, biological form and vertical sociological position of the species studied. Finally, a "vertical dominance index" (VOI), based on the dominance index of Sarukhán (1968), was produced with the objective of analyzing the species' dominance in every meter of height. As a result, eight species were found to be high on the VOI: *Chrysophylla argentea* at 1 m, *Piper* sp. between 2 and 3 m, *Trichilia minutiflora* between 4 and 5 m, *Sabaljapa* between 6 and 7 m, *Alseis yucatanensis* at 8 m, *Spondias mombin* between 9 and 17 m, *Bourreria oxyphyllaria* at 19 m, and *Cedrela odorata* between 18 and 23 m.

KEY WORDS: sinecology, ecological units, regeneration

INTRODUCCION

La estratificación vertical de individuos y especies en la selva tropical, tiene un sentido funcional, propiciado

por un número de factores físicos y ambientales que permiten una alta diversidad de especies. tanto de animales como de vegetales cohabitando en una misma área. En el presente estudio, se analiza la estrati-

ficación de una selva a partir del uso de técnicas multivariadas y regresión no lineal. Con base en los resultados de este análisis, se propone una metodología para extraer, de los datos de inventario, más información sobre la dinámica de crecimiento de las especies que la conforman, a través de un muestreo temporal.

REVISION DE LITERATURA

El primer autor en estudiar la estratificación de las selvas fue Richards (1979), utilizando histogramas de frecuencia de alturas y perfiles diagramáticos. Con estas técnicas demostró que existen tres estratos arbóreos. Oldeman (1989), afirma que la selva tropical se muestra como un mosaico compuesto por trozos de selva (ecounidades) de diferentes tamaños y en distintas etapas de desarrollo, por tanto, se observa realmente una estratificación horizontal. En diversos estudios, la definición de estratos se ha realizado de acuerdo a la técnica de Richard (1979), sin embargo, pueden utilizarse métodos multivariados para efectuar dicha definición. Por ejemplo, Arriaga y Sarukhán (1988), para detectar niveles de competencia y parasitismo en *Pinus hartwegii*, utilizaron métodos multivariados para encontrar grupos de árboles con atributos ecológicos similares.

Localización y descripción del área de estudio

El estudio se realizó en la Zona IV del Campo Experimental "San Felipe Bacalar", en el estado de Quintana Roo, México. La Zona IV comprende una superficie de 532 ha del tipo de vegetación denominado selva mediana subperennifolia, de acuerdo a la clasificación de Miranda y Hernández (1963). El clima es cálido sub-húmedo, con régimen de lluvias en verano, la temperatura media anual es de 26° C y la precipitación promedio anual de 1254 mm. La topografía es plana con algunas elevaciones de poca importancia. Los suelos son predominantemente, Luvisoles Gleycos y Rendzinas, en menor escala los Litosoles; la altitud media es de 20 msnm.

Base de datos y análisis de la información

La base de datos utilizada provino de una muestra de 13 ha distribuida sistemáticamente con cuadros de muestreo de 1 000 m² en la superficie del área de estudio. En árboles con diámetro a la altura de pecho (DAP) mayor de 12.5 cm se identificó la especie y se midió su altura total (AT) y el DAP, con estas variables se generó la variable combinada AD2, como resultado del producto de AT por (DAP)². Los árboles con DAP menor de 12.5 cm fueron identificados por especie y se les midió su AT y el diámetro de copa (DC).

Se realizó un análisis de componentes principales de las variables AT, DAP Y AD2 con el objeto de correlacionar el primer componente principal (CP1) con los grupos obtenidos del análisis de agrupamiento. Dicho agrupamiento, se realizó utilizando un algoritmo que combina un método de agrupamiento jerárquico con un método de agrupamiento disjunto (Anderberg, 1973). El método de agrupamiento jerárquico denominado del "K-ésimo vecino más cercano" (Wong y Lane, 1983) se utilizó para agrupar una submuestra de los datos y así obtener el número de grupos modales, el cual sirvió para agrupar la totalidad de los datos con el método de agrupamiento disjunto denominado "ordenamiento por el centroide más cercano". Los grupos resultantes fueron comparados con los estratos identificados mediante un histograma de frecuencia de alturas. Con el objeto de simular el paso de una especie a través de los estratos, la proporción observada de individuos en cada metro de altura, fue modelada con la función acumulativa de la distribución Weibull, la cual tiene la siguiente forma:

$$r(h) = 1 - \exp \left[- \left(\frac{h}{b} \right)^c \right]$$

donde h es la altura total (AT), b es el parámetro de escala y c es el parámetro de forma. Al derivar esta función se obtuvo la altura (HMAX), donde ocurre la máxima tasa de crecimiento instantáneo de la proporción de individuos (MTCP), Es decir:

$$HMAX = b \left(\frac{c-1}{c} \right)^{1/c} \quad MTCP = \frac{c}{b} \left(\frac{c-1}{c} \right)^{\frac{c-1}{c}} \exp \left(- \left(\frac{c-1}{c} \right) \right)$$

Suponiendo que existe un "estado estable" en la selva, el valor HMAX donde ocurre la MTCP de una especie, equivale a la altura donde ésta alcanza su desarrollo óptimo. Después de este punto, la tasa de cambio de la proporción de individuos, desciende a medida que la altura de la selva aumenta. La velocidad con que desciende dicha proporción, depende de la capacidad de la especie para ocupar alturas mayores. Por tanto, si una especie está adaptada para alcanzar una altura determinada, una vez que llega a su altura óptima, la tasa de crecimiento de la proporción disminuirá. Para evaluar este descenso, se calculó la altura (H95) debajo de la cual, la especie cuenta con el 95% de su población:

$$H95 = b \left(-\ln 0.05 \right)^{1/c}$$

La posición sociológica (PS) de una especie respecto a la altura total de la vegetación es la relación entre la tasa de máxima crecimiento de la proporción de la espe-

cie, ponderada por la altura máxima que ésta puede alcanzar. La PS se obtuvo al dividir TMCP entre H95.

Finalmente, se desarrolló un índice de dominancia vertical (IDV), tomando como base el índice de dominancia de Sarukhán (1968), con el objeto de evaluar la dominancia de las especies en cada metro de altura de la vegetación. El IDV tiene la siguiente forma:

$$IDV_a = \frac{\tilde{N}_i(b, h+1)}{\sum_{i=1}^n \tilde{N}_i(b, h+1)} \cdot \frac{LPABIM}{130} \cdot \frac{C}{130}$$

donde $\tilde{N}_i(h, h+1)$: Es el número estimado de árboles de la especie i que ocurren en la clase de altura $(h, h+1)$.

PAB_{ink} : La producción de área basal (AB) de la especie i , en la clase de altura $(h, h+1)$ del cuadro k de muestreo (AB_{ink}), con respecto al área basal total del k -ésimo cuadro (AB_k)-

$f(h)$: Es la tasa de crecimiento de la proporción poblacional en la altura h .

k_{ih} : El número de cuadros de muestreo donde la especie i ocurre en la clase de altura $(h, h+1)$.

Una especie, donde para una clase de altura dada presenta un valor de abundancia máximo, una mayor cantidad de biomasa, una tasa de crecimiento máximo y frecuencia máxima de ocurrencia, se dice que es dominante respecto a otras y que tiene una mayor capacidad de adaptación a esa condición especial de crecimiento.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Se identificaron 116 especies arbóreas y arbustivas, destacando *Brosimum alicastrum* (Ramón) y *Spondias mombin* (Jobo) como los árboles más abundantes en toda la muestra.

En el análisis de componentes principales, el primer componente principal (CP1) explicó el 75% de la variación total de la muestra.

Se obtuvieron seis grupos con el análisis de agrupamiento, cuyas características se presentan en el Cuadro 1 y 2 se encuentran bien diferenciados en cuanto a la altura, mientras que con las variables DAP y AD2 no sucede lo mismo. Los límites entre los grupos 2 y 3 no

son claros, pero entre los grupos 3, 4, 5 y 6 la diferencia se hace más marcada, considerando las variables DAP y AD2. En el mismo Cuadro 1, el CP1 presenta pequeñas zonas de traslape y, por tanto, se correlaciona en mayor medida con los grupos. Los resultados del agrupamiento evidencian que la altura tiene una mayor influencia en la formación de los grupos con árboles de baja altura, mientras que los árboles de mayor dimensión se diferencian más claramente.

CUADRO 1. Límites y Centroides de los Grupos Obtenidos

Grupo	ATtml		DAP tcm			AD2			CPI			
	U	LI	M	Li	Ls	M	U	LI	M	Li	Ls	M
1	4	11	9	11	60	21	0.1	3.4	0.6	2	7	5
2	11	18	13	12	84	28	0.2	6.3	1.2	6	10	7
3	12	23	17	16	82	44	0.5	11.6	3.5	9	11	11
4	16	23	19	62	100	82	8.4	20.0	13.5	14	24	18
5	15	22	19	101	135	122	22.5	38.3	28.5	22	35	27
11	17	23	21	144	163	154	48.2	51.7	41.9	37	43	41

LI, Ls y M son los límites inferior y superior, H f como la media, respectivamente, de cada variable en cada uno de los grupos.

Por las variables DAP y AD2. Al comparar estos resultados con el histograma de frecuencias de altura (Figura 1), puede observarse que a los 11 m existe una discontinuidad marcada, la cual coincide con el límite de los grupos 1 y 2 del Cuadro 1.

Los parámetros derivados de la distribución Weibull se relacionaron estrechamente con la forma biológica, el temperamento y las estrategias competitivas de las especies. En el Cuadro 2 se resumen los valores de dichos parámetros de acuerdo con los grupos ecológicos identificados.

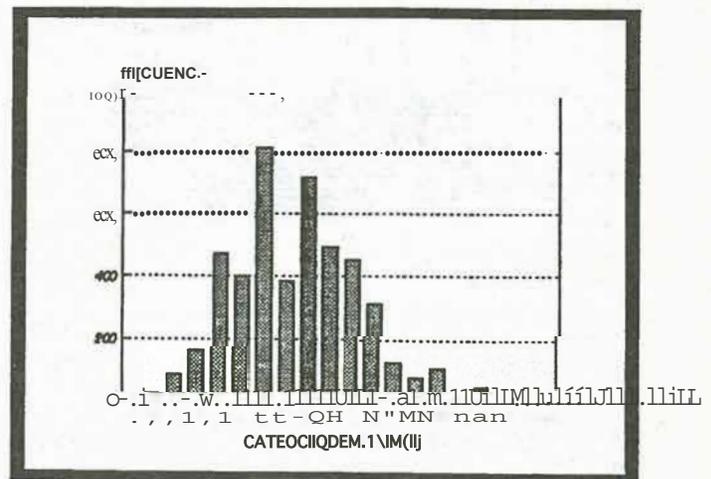


Figura 1. Histograma de frecuencias de altura para la muestra total de árboles.

Las especies tolerantes del sotobosque son arbustos que nunca alcanzan los 4m de altura y están bien adaptadas para vivir bajo el dosel arbóreo. Las tolerantes del estrato inferior son árboles pequeños que generalmente

son especies oportunistas e intolerantes a la sombra, que llegan a dominar los estratos superiores y que tienen la facultad de regenerarse bajo sombra. Los árboles emergentes, sin embargo, requieren de altas cantidades de luz para crecer y por lo tanto, su regeneración es muy escasa. Al respecto, Martínez-Ramos (1985), realizó una descripción de las características ecológicas de los grupos mencionados, sin embargo, no hace la distinción entre los dos grupos de especies tolerantes que aquí se mencionan.

En la Figura 2 se graficó el índice de dominancia vertical (IDV) de las ocho especies que tuvieron los valores más altos en toda la muestra. Aquí, *Piper sp.* y *Chrysophylla argentea* son especies tolerantes del sotobosque y se encuentran dominando fuertemente este estrato, *Trichilia minutiflora* es un árbol pequeño que generalmente ocupa el estrato inferior de esta selva. Las especies *Ay-seis yucatenensis* y *Sabaljapa* son nómadas que ocupan los claros para poder desarrollarse. Finalmente, *Spondias mombin*, *Bourreria oxyphyllaria* y *Cedrela odorata* son especies emergentes que logran dominar los estratos altos pero presentan una regeneración escasa. Cabe resaltar la excesiva dominancia de *S. mombin* ya que es una especie secundaria que generalmente se desarrolla en áreas perturbadas.

CONCLUSIONES

- Se determinaron 6 grupos en el análisis de agrupamiento. Se encontró que los dos primeros grupos están claramente diferenciados con la variable altura, a los 11 m, mientras que los grupos restantes se diferencian por medio del diámetro y la variable combinada. El límite del primer grupo, coincide con el definido mediante el análisis del histograma de frecuencias de altura.
- Con la ayuda de la función acumulativa de la distribución Weibull de 2 parámetros, se modeló el paso de las especies a través de los estratos, encontrándose que el comportamiento y forma biológica de las especies.
- Con el análisis se mostró que la vegetación estudiada se encuentra alterada, debido a cortas y disturbios naturales, ya que la dominancia fue más evidente en las especies secundarias.
- La dominancia de las especies en cada altura fue calculada con el objeto de determinar las relaciones que guardan las especies dentro de los estratos. De esta manera, la información que proporciona el índice de dominancia vertical, puede ayudar a diagnosticar el estado actual de una selva para orientar la actividad forestal maderable.

LITERATURA CITADA

ANDERBERG, M.R. 1973. Cluster analysis for applications. Academic Press. 145p

ARRIAGA F.; J. Sarukhán. 1988. Identification of natural groups of trees in uneven-aged forests using multivariate methods. J. Of Ecology. 76:1092-1100.

MARTÍNEZ-RAMOS M. 1985. Claros, ciclos vitales de los árboles tropicales y regeneración natural de las selvas altas perennifolias. En: Gómez-Pompa A y S. Del Amo R. (eds.). Investigador.es sobre la regeneración de selvas altas en Veracruz, México. Alhambra Mexicana. Pp. 191-239.

MIRANDA F. ; E. HERNÁNDEZ X. 1963. Los tipos de vegetación en México y su clasificación. Bol. Soc. Bot. Méx. 28:29-179.

OLDEMAN, R.A.A. 1989. Dynamics in tropical rain forests. En: Holm-Nielsen and H. Balslev (eds.). Tropical forests: botanical dynamics, speciation and diversity. Academic Press.

SARUKHÁN K.J. 1968. Análisis sinecológico de las selvas de Terminilla amazonia en la Planicie Costera del Golfo de México. Tesis de Maestría. Escuela Nacional de Agricultura. Colegio de Postgraduados. Chapingo, Méx.

RICHARDS, P.W. 1979. The tropical rain forests: an ecological study. Cambridge University Press.

WONG, M.A. ; T. LANE. 1983. A k-th nearest neighbor clustering procedure. J.R. Statist. Soc. B. 45(3):362-368.

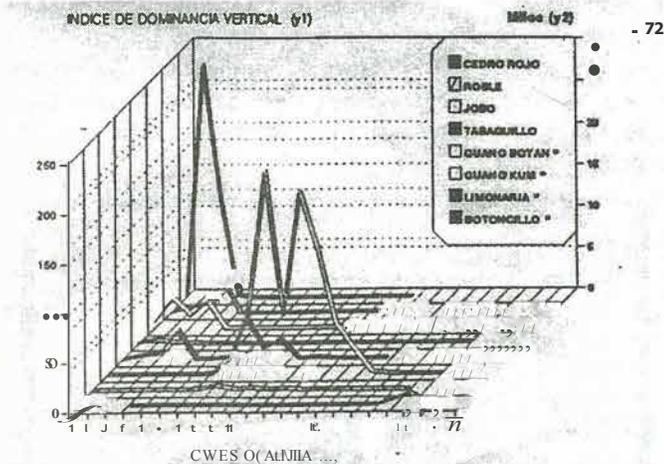


Figura 2. Las ocho especies dominantes en cada altura.

Grupo Ecológico	TMCP	H95	PS
Tolerantes del Sotobosque	>0.4*	<4	> 0.1
Tolerantes del Estrato Inferior	0.3- 0.4	4 - 6	0.05- 0.1
Nómadas	0.2-0.3	5 -11	0.02-0.05
Emergentes	<0.2	>9	<0.02

TMCP: Tasa máxima de crecimiento instantáneo de la proporción.
 H95: Altura hasta donde una especie alcanza el 95% de su población.
 PS: Posición sociológica (TMCP/H95).
 * Los intervalos no tienen un límite definido