

Introducción

La distribución espacial, la diversidad de especies y la diferenciación dimensional son las principales características de la estructura de un rodal forestal. Por lo general la estructura hace referencia a la distribución de los árboles en el espacio del bosque, teniendo especial importancia la distribución de diferentes géneros y especies así como la distribución de las mismas por clases de dimensión. La escala de muestreo hace referencia a la extensión del área de observación y a las características espaciales de las unidades de muestreo.

Sin embargo, factores ambientales que resultan altamente heterogéneos a pequeña escala pueden aparecer como homogéneos a escalas superiores o presentar diferente mezcla de especies. La estructura espacial de un determinado bosque o rodal, es dependiente de la escala. Esto implica, que el patrón de estructura espacial de un rodal definido por una escala en particular, puede cambiar a otras escalas. En términos de escala espacial, la distribución espacial de los árboles de un rodal puede describirse a nivel de rodal, a nivel de patrón de puntos y a nivel de vecindad. En este trabajo se emplearon y analizaron estas tres escalas de descripción estructural, con la finalidad de comparar e identificar su habilidad para caracterizar la estructura de rodales mixtos y heterogéneos, característicos de los bosques de Durango, México.

Materiales y Métodos

La fuente de los datos proviene de 67 Sitios Permanentes de Investigación Forestal, ubicados en tres regiones forestales del estado de Durango. Los sitios fueron establecidos a través de la metodología desarrollada por Corral-Rivas (2009). Los tres principales componentes estructurales: diversidad y mezcla de especies, distribución espacial y diferenciación dimensional (Aguirre et al. 2003) fueron caracterizados para cada sitio a través del empleo de cada una de las escalas previamente mencionadas.

Regiones forestales

- ✓ El Salto
- ✓ San Dimas
- ✓ Santiago

Suelo: Litosol, Regosil y Cambisol

Altitud: 2300 hasta 2700 asnm

Precipitación: 800 a 1200 mm

Clima: Templado subhúmedo y semifrío subhúmedo

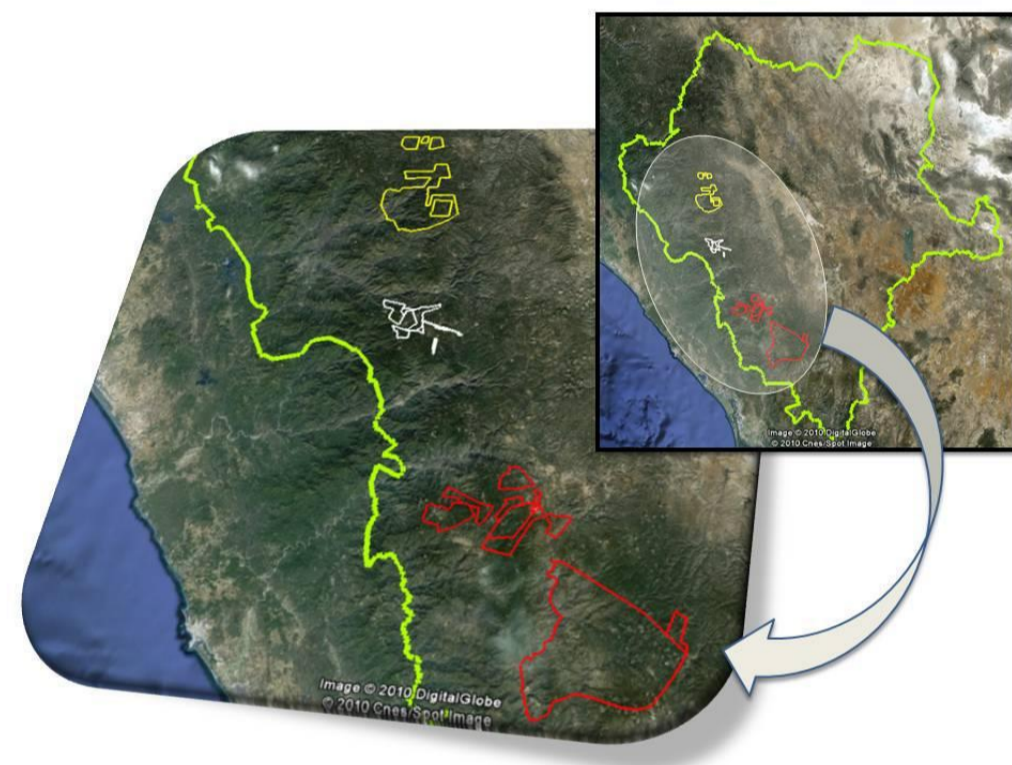
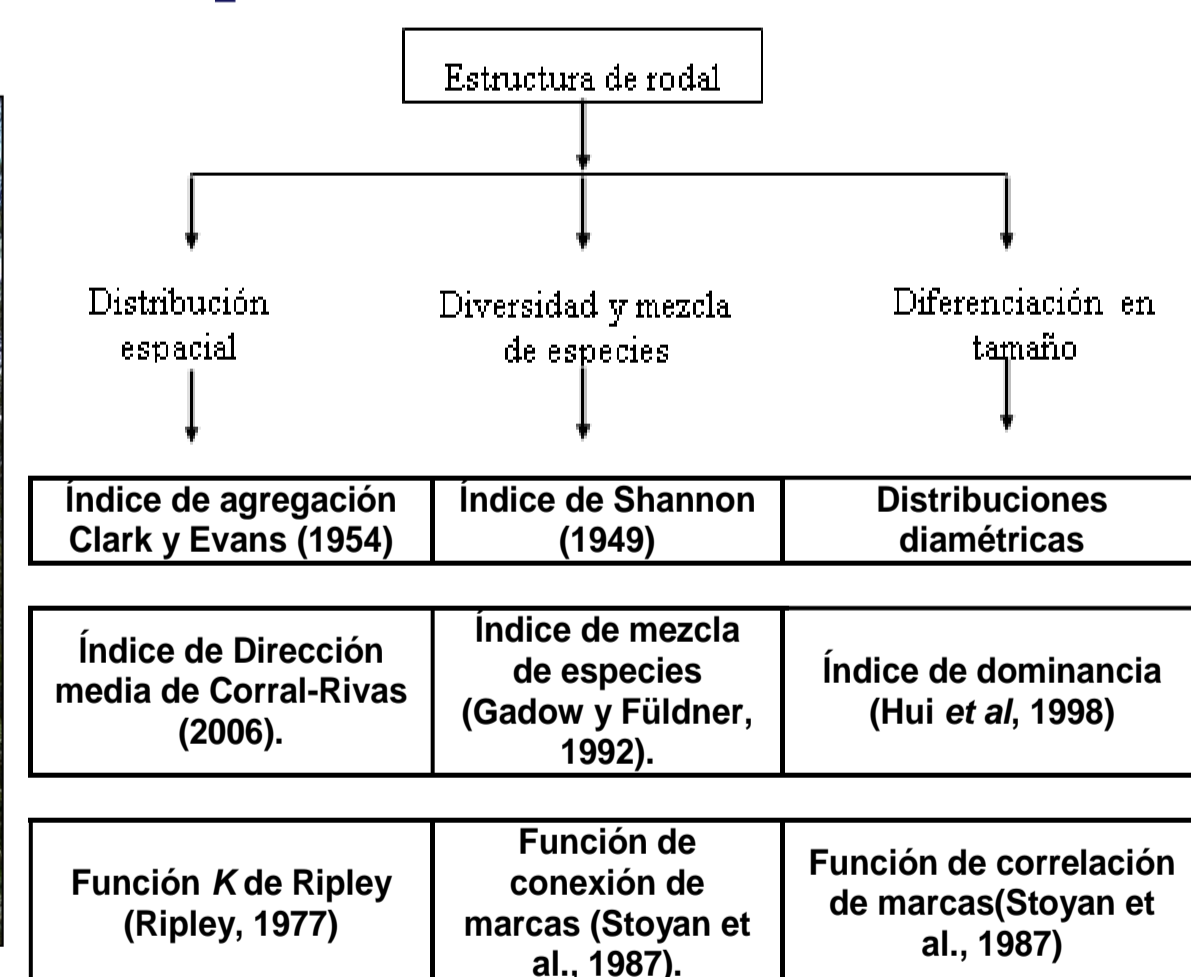


Figura 1. Localización del área de estudio: región forestal El Salto (rojo), región forestal San Dimas (blanco) y región forestal Santiago (amarillo). Cada polígono representa un grupo de sitios.

Escalas de caracterización de la estructura espacial utilizadas



El índice de Shannon (Shannon, 1949) el cual cuantifica la riqueza y diversidad de especies. El índice de agregación (Clark y Evans, 1954), se utiliza para describir la distribución espacial de los árboles. La estructura horizontal y vertical de un rodal puede ser representada por la distribución de frecuencias de los diámetros y alturas de los individuos que constituyen el rodal, o a través del cálculo del coeficiente de variación de cualquiera de estas dos variables dasométricas.

En 1992 se desarrolla en Alemania, una familia de índices de árbol individual basados en las relaciones de la vecindad capaces de describir importantes aspectos de la distribución espacial a una pequeña escala. Estos índices caracterizan la distribución espacial, la mezcla de especies y la diferencia en tamaño, y pueden utilizarse para proporcionar una descripción completa de la estructura espacial de un rodal. (Gadow y Hui, 2002; Aguirre et al., 2003; Corral-Rivas et al., 2006)

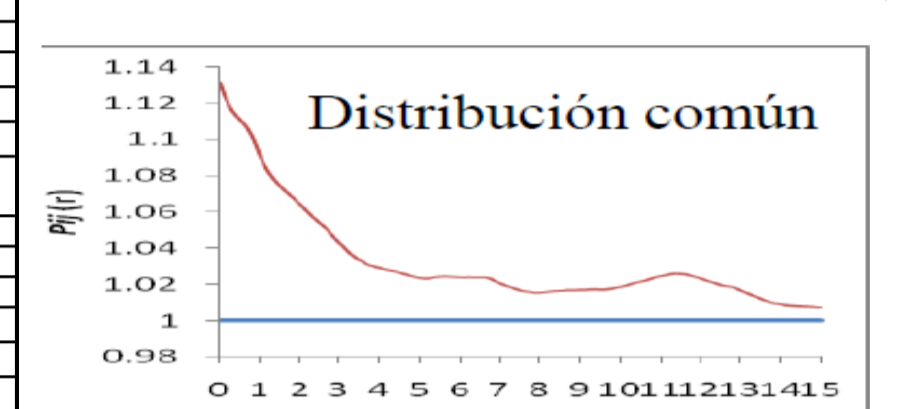
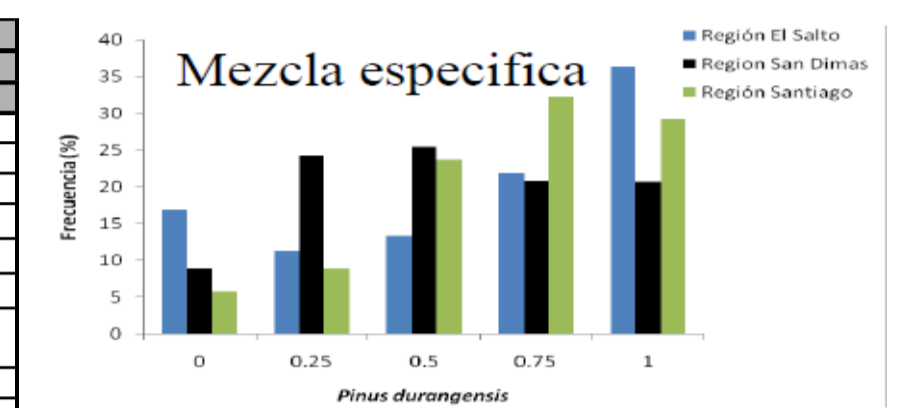
Una manera de simplificar la estructura espacial es representando la localización horizontal de los árboles de un rodal en plano de dos dimensiones: cada árbol es representado por un punto definido por sus coordenadas, y el rodal puede ahora ser considerado como un grupo finito de puntos llamado patrón de puntos. Si además de los árboles se conocen características o marcas cuantitativas y cualitativas como especies, dimensiones, etc., entonces la teoría del patrón de puntos puede ser aplicada para describir la distribución espacial e interacciones de los árboles que componen el rodal. El concepto de patrón de puntos ha sido utilizado recientemente en el análisis de la estructura espacial de rodales forestales (p.ej. Moeur, 1993; Stoyan and Penttinen, 2000).

Resultados y conclusiones

Diversidad de especies

La mayoría de los sitios estudiados presentan entre 6 y 9 especies arbóreas. El análisis a nivel de vecindad describió de manera muy similar la mezcla de especies respecto a la escala de análisis puntual. Los resultados de la conexión de marcas pueden considerarse los más detallados, pero también los más difíciles de calcular. Se obtienen evaluando la distribución de distancias entre todos los pares de árboles permitiendo definir asociaciones entre marcas discretas como especies o géneros.

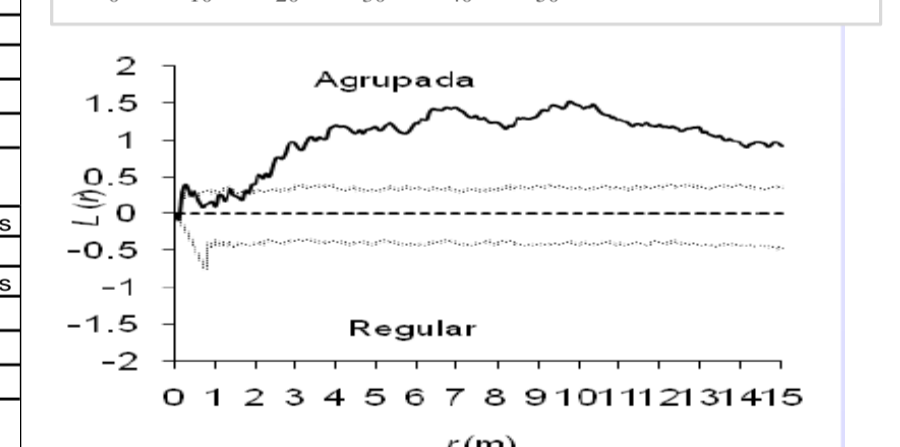
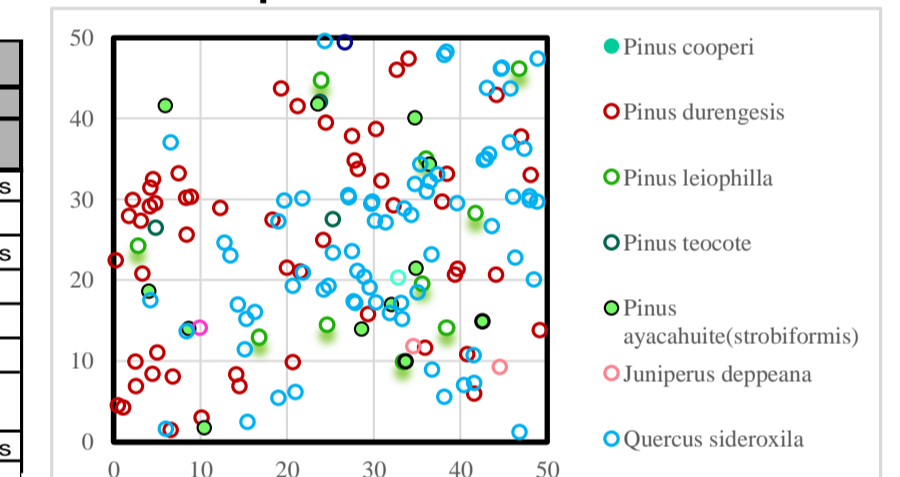
Región Forestal	Predio	Sitio	Número de especies	Diversidad de especies	Diversidad y mezcla	Conexión de marcas		
						Escala (metros)	0 a 3	3 a 6
El Salto	Las Bayas	1	4	0.65	0.272	positiva	negativa	
		El Brillante	28	5	0.535	0.214	positiva	positiva
		Promedio		6.58	1.211	0.522	84.61°	80.77°
		C.V.		30.46	38.55	36.77	7.69°	11.54°
a, b, c: porcentaje de correlación de especies arbóreas positiva, negativa y sin correlación, respectivamente								
San Dimas	Cuevecillas	29	5	0.983	0.564	positiva	positiva	
		42	8	1.403	0.62	positiva	positiva	
		Promedio		6.67	12.7	0.541	91.67°	75°
		C.V.		25.05	33.898	31.183	8.33°	16.67°
a, b, c: porcentaje de correlación de especies arbóreas positiva, negativa y sin correlación, respectivamente								
Santiago	San Diego	44	8	1.216	0.551	positiva	positiva	
		76	6	1.294	0.607	positiva	positiva	
		Promedio		7.1	1.421	0.651	82.14°	71.43°
		C.V.		29.71	17.59	11.22	13.64°	28.57°
a, b, c: porcentaje de correlación de especies arbóreas positiva, negativa y sin correlación, respectivamente								



Distribución espacial

Los resultados de los índices para describir la distribución espacial del arbolado difieren de manera importante en la caracterización arrojada. El índice de Clark y Evans indica que la mayoría de los sitios (53) tienen una distribución significativa de agregados y que sólo para 14 no se rechaza la hipótesis nula de una distribución completamente al azar. Por el contrario, el índice de dirección media de Corral-Rivas sugiere que 22 de los sitios tienen una distribución significativa de agregados y que para la mayoría de los sitios (45) no se rechaza la hipótesis de aleatoriedad completa. Por otra parte, la función K de Ripley señala que a una escala de 0 a 3 m 31 sitios presentan un patrón significativo de agregados, mientras que para 33 de ellos no se rechaza la hipótesis de aleatoriedad completa.

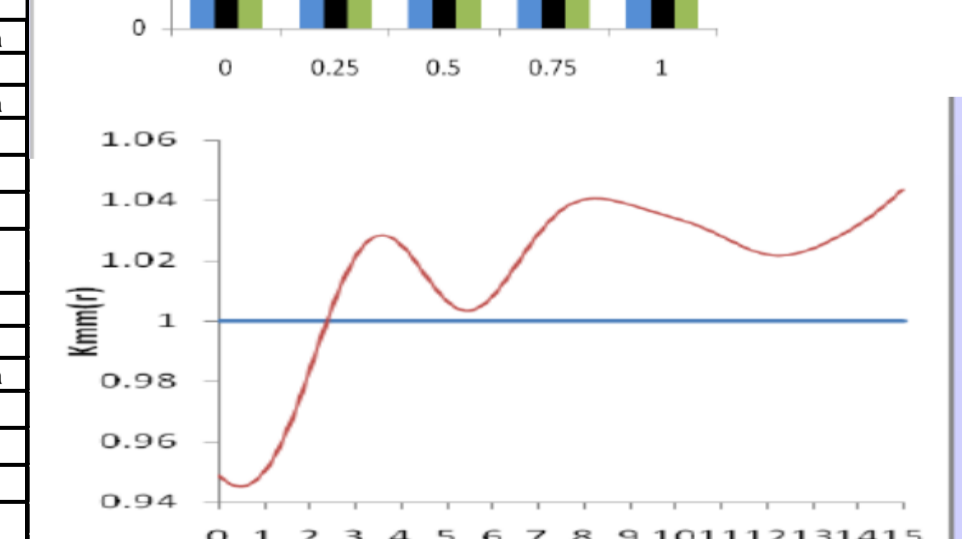
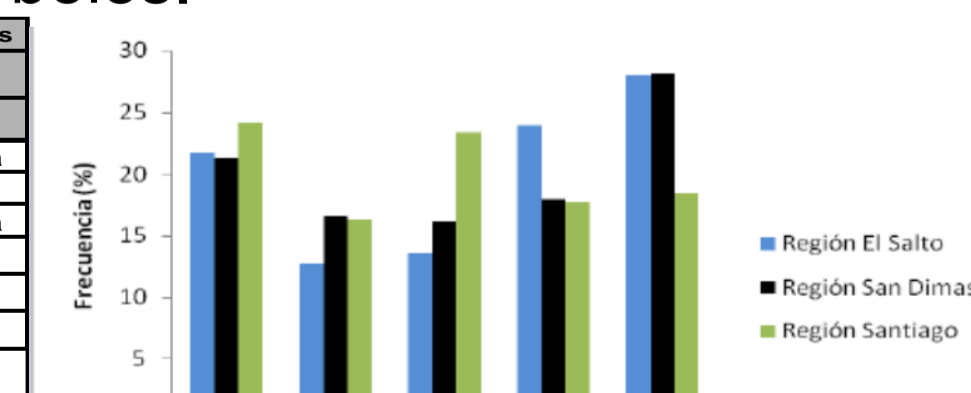
Región Forestal	Predio	Sitio	Estructura espacial		Estructura espacial		Fij. res		Función K de Ripley		
			CE	HD	RI	P(Z/RI)	0 a 3	3 a 6			
El Salto	Las Bayas	1	0.743	1	2.091	0.002	aleatoria	agregados			
		El Brillante	28	0.725	1	1.969	0.017	agregados	agregados		
		Promedio		0.881	65.38°	1.874	38.46°	65.39°	61.53°		
		C.V.		10.76	34.62°	8.908	57.69°	23.076°	34.61°		
a, b, c: porcentaje de sitios con distribución arbórea de agregados, aleatoria y regular, respectivamente											
San Dimas	Cuevecillas	29	0.831	1	1.977	0.024	aleatoria	agregados			
		42	0.882	1	1.798	0.446	aleatoria	aleatoria			
		Promedio		0.88	83.3°	1.83	8.33°	8.33°	58.33°		
		C.V.		6.044	16.7°	4.308	91.67°	91.66°	41.66°		
a, b, c: porcentaje de sitios con distribución arbórea de agregados, aleatoria y regular, respectivamente											
Santiago	San Diego	44	0.784	1	2.006	0.053	agregados	agregados			
		76	0.621	1	2.004	0.094	agregados	agregados			
		Promedio		0.845	89.65°	1.96	37.93°	82.14°	100°		
		C.V.		12.25	10.35°	5.83	62.07°	17.86°	0°		
a, b, c: porcentaje de sitios con distribución arbórea de agregados, aleatoria y regular, respectivamente											



Diferenciación dimensional

Los resultados del análisis del grado de diferenciación indicaron que las tres escalas estudiadas sugieren que los sitios estudiados presentan una estructura horizontal heterogénea. Los resultados del análisis del grado de diferenciación indicaron que las tres escalas estudiadas sugieren que los sitios estudiados presentan una estructura horizontal heterogénea. El primer método sólo muestra una descripción general de los diámetros del arbolado, en cambio los otros dos métodos mostraron claras ventajas. El índice de dominancia permite evaluar la dominancia relativa como una función de un atributo determinado de un árbol, por ejemplo la especie. La función de correlación de marcas posibilita encontrar correlaciones a diferentes distancias entre atributos o marcas de los árboles.

Región Forestal	Predio	Sitio	Diferenciación dimensional		Correlación de marcas			
			C.V.	Clase	Uj	Escala (metros)	0 a 3	3 a 6
El Salto	Las Bayas	1	57.44	alta	0.474	positiva	negativa	
		El Brillante	28	75.77	Muy alta	0.489	negativa	negativa
		Promedio		54.73		0.508	7.69°	3.85°
		C.V.		75.77		2.287	92.31°	92.31°
a, b, c: porcentaje de correlación positiva, negativa y sin correlación, respectivamente								
San Dimas	Cuevecillas	29	59.6	alta	0.532	negativa	negativa	
		42	51.73	alta	0.514	negativa	negativa	
		Promedio		53.57		0.509	8.33°	16.67°
		C.V.		52.75		3.284	91.67°	83.33°
a, b, c: porcentaje de correlación positiva, negativa y sin correlación, respectivamente								
Santiago	San Diego	44	40.22	alta	0.482	negativa	positiva	
		76	84.8	Muy alta	0.478	negativa	negativa	
		Promedio		55.88		0.466	50.0°	50.0°
		C.V.		29.71		19.56	50.0°	50.0°
a, b, c: porcentaje de correlación positiva, negativa y sin correlación, respectivamente								



Referencias

Aguirre O., Hui A., Gadow K., Jiménez J., 2003. An analysis of spatial forest structure using neighbourhood-based variables. Forest Ecology and management 183, 137-145.

Corral-Rivas, J., Pommerening, A., Gadow, K., Dietrich, S. 2006. An analysis of two directional indices for characterizing the spatial distribution of forest trees. In Corral-Rivas, J (eds.), Models of tree growth and spatial structure for multi-species, uneven-aged forests in Durango (Mexico), pp. 119-134.