

ANÁLISIS ESPACIAL EN RENOVALES DE ROBLE (*Nothofagus obliqua* (Mirb)(Oerst) Y RAULI (*Nothofagus alpina* (Poepp y Endl)

Marjorie Martin S. (*)

RESUMEN

El presente estudio tiene como objetivo analizar la distribución espacial de renovales de Roble-Raulí, de la zona precordillerana de Malleco, utilizando como herramienta básica el proceso de puntos marcados. El análisis de la distribución espacial es el paso previo en la identificación de un patrón de distribución que sirva de modelo para la simulación de poblaciones artificiales, que permitan el estudio de procesos que dependen de la distancia entre árboles, como es el de la competencia. La conveniencia de este método de análisis espacial, por sobre otros, radica en que, además de entregar un descripción matemática y gráfica de lo que sucede en rangos de distancia, incorpora una variable "marca" que no sólo está ligada a cada individuo, sino que además puede estar relacionada con la distancia entre un par de árboles.

ABSTRACT

*The objective of this study is to analyse the spatial distribution of **Nothofagus obliqua** and **Nothofagus alpina** in the pre-Andes Mountains of Malleco, using a basic tool the process of marked points. The analysis of the spatial distribution is the previous step in the identification of a standard pattern of distribution wich might be used as a model for the simulation of the artificial population, which might permit the study of the process that depend from the distance among the trees, as it is of the competition. The advantage of this method of spatial analysis from others, is besides giving a mathematical description and graphics of what is going on in ranks of distance, it incorporates a variable "mark", which is not linked to each individual, but it can also be related with the distance between a pair of trees.*

(*) Ingeniero Forestal, Instituto Forestal, División Ordenación Forestal e Inventarios

INTRODUCCION

El análisis espacial es una herramienta eficaz en el estudio de la distribución que presentan los árboles en terreno. Esta distribución está determinada por distintos factores dentro de los cuales se distinguen: la forma de propagación de la semilla, el estado evolutivo de los árboles, la topografía y, en general, los reguladores de la densidad, como la competencia, la presencia de plagas, incendios o catástrofes y la mortalidad en general, factores que, individualmente o en conjunto, determinarán que un grupo de árboles en una región determinada se distribuyan aleatoriamente o en forma agregada, o uniforme, o como una combinación de éstas.

Existen distintos métodos para llevar a cabo este análisis, los cuales difieren en la información básica que requieren y en consecuencia en la profundidad del análisis resultante.

Los métodos que precisan la mínima información básica son los basados en muestreos de parcelas de forma cuadrada, donde sólo se necesita el número de individuos presente en cada parcela. Otros métodos se basan en muestras de distancias medidas desde puntos aleatorios a los árboles más cercanos. Estos métodos no requieren conocer el total de la población.

Luego están los métodos basados en distancias desde árboles escogidos en forma arbitraria a sus vecinos más cercanos, que requerirían para una muestreo realmente aleatorio, la enumeración de los individuos presentes en una determinada área.

Estos métodos resultan de fácil y rápida aplicación para el investigador, por lo que representan un bajo costo, pero los resultados obtenidos determinan un tipo de distribución para la generalidad de la población, en base a la distancia media o al número medio de individuos por cuadrado.

El método empleado en este estudio corresponde al que se conoce como proceso de puntos marcados, en el cual, a diferencia de los métodos anteriores, se requiere no sólo la completa enumeración de los individuos dentro de un área determinada, sino que además se requiere conocer la posición exacta de

los individuos en coordenadas cartesianas, de modo que el área constituye el plano cartesiano donde los árboles se representan como puntos.

Este método entrega resultados más precisos acerca de la distancia de interacción entre los individuos, ya que analiza todos los rangos de distancia que se forman entre todos los árboles.

Para efectos del análisis, las parcelas empleadas se han dividido según especies intolerantes, roble y raulí, identificándolas como población 1; y especies tolerantes, avellano, lingue y tepa, representadas por la población 2. También se estudia el efecto en conjunto, tolerantes e intolerantes.

La aplicación del análisis espacial permite buscar mejores estimadores de la densidad (Mackisack y Wood, 1990). Además se han desarrollado aplicaciones para la interpretación de disturbios históricos de los rodales, como la ocurrencia de plagas (Duncan et al, 1991), y como método de análisis para la reproducción clonal de algunas especies de fácil retoñación (Berg et al, 1994).

METODOLOGIA

Información Básica

Los datos provienen de las parcelas permanentes del Proyecto Modelo de Simulación para Renovales de Roble-Raulí, instaladas el año 1991. Éstas se ubican en la ribera norte del río Renaico (Límite sur de la VIII Región). Son dos parcelas de una hectárea de superficie y de forma cuadrada.

En estas parcelas se definió la posición, en coordenadas cartesianas, de cada árbol de DAP mayor a 10 cm. Además del DAP, se tomaron muestras de edad de 48 árboles en cada parcela e información de altura.

Método

El proceso de puntos marcados se sustenta en dos supuestos básicos respecto de los datos: estacionalidad e isotropía. Estos supuestos implican que las probabilidades establecidas acerca del proceso, en cualquier región del plano, se mantienen invariantes bajo una traslación arbitraria del plano y bajo su rotación, es decir, no hay efectos direccionales. La estacionalidad implica que se cuenta con replicaciones de conjuntos de datos dentro de una subregión del plano en estudio. La isotropía implica que el vector de diferencias entre eventos puede ser reemplazado por distancias escalares para dar un nuevo elemento en la replicación incorporada (Diggle, 1983).

En general estos supuestos son a menudo razonables como una primera aproximación sobre un rango geográfico restringido.

El proceso de puntos marcados es descrito por Penttinen (1992) y se define como un modelo matemático de un sistema aleatorio de puntos marcados que conforman el par $(x, m(x))$. El primer elemento de este par se refiere a la posición en el plano cartesiano de un evento, y $m(x)$ es una variable asociada al evento (marca). Para efectos de este estudio, la parcela de terreno representa al plano cartesiano, cada "x" es la coordenada de cada árbol en ese plano y cada "m(x)" representa el DAP de dicho árbol.

En este caso se ocupa el DAP, aunque puede utilizarse cualquier variable asociada a cada individuo, como altura, diámetro de copa, edad, etc.

Las características fundamentales son la densidad " λ ", cuyo estimador es el número de árboles por unidad de área, y la marca promedio, " μ ", en este caso el DAP medio de la parcela.

Las funciones utilizadas en el modelo son:

- Función par de Correlación : Función que relaciona la distancia entre un par de árboles. Indica, cuanto más (o menos) frecuente es una distancia entre pares, comparada con lo que ocurriría en un proceso aleatorio de puntos. Toma valores entre cero e infinito.

Valores de esta función superiores a 1 indican que la distancia es más frecuente que en una población aleatoria. Al contrario, valores menos que 1 indican que esa distancia es menos frecuente que en una población

aleatoria. Valores aproximadamente iguales a 1 indican que esas distancias son prácticamente aleatorias. La siguiente expresión describe la función par de correlación :

$$\hat{g}(r) = \sum_{i \neq j} w(\|x_i - x_j\| - r / \hat{\lambda}^2) 2\pi r s(r), r > 0$$

Siendo :

w	:	Estimador de Kernel, que permite funciones de densidad suavizadas
s(r)	:	Factor de corrección de bordes
r	:	Clase de distancia
$\ x_i - x_j\ $:	Distancia desde el árbol i al árbol j
λ	:	Estimador de la densidad
π	:	Constante Pi

- Función Acumulativa de segundo orden, Función K de Ripley: Esta función tiene una explicación más bien intuitiva, donde la función ponderada por la densidad $[K(r)\lambda]$, indica el número de puntos existentes dentro de una distancia determinada y desde un punto escogido aleatoriamente. En el caso de un proceso aleatorio, $K(r)$ es igual a πr^2 , siendo r un rango de distancia determinado. Su expresión es:

$$\hat{K}(r) = \sum_{0 < \|x_i - x_j\| \leq r} \frac{1}{\hat{\lambda}^2 s(\|x_i - x_j\|)}$$

En forma práctica esta función es reemplazada por la expresión linealizada, para la cual existen intervalos de confianza, que permiten determinar si una población es aleatoria a un nivel de confianza del 95%. Esta función se calcula como:

$$\hat{L}(r) = \sqrt{\hat{K}(r) / \pi}, r > 0$$

- **Función de Correlación de las Marcas** : Función que relaciona los diámetros de una par de árboles situados a una determinada distancia. Los valores menores a 1 sugieren una correlación negativa o mutua inhibición. Los valores mayores a 1 indican correlación positiva o mutua atracción. En el caso en que la variable no esté espacialmente correlacionada el valor de esta función será aproximadamente igual a uno. La siguiente expresión describe esta función:

$$\hat{k}_{mm}(r) = \sum_{i \neq j} w(\|x_i - x_j\| - r) m_i m_j / (\hat{\lambda}^2 \mu^2 2\pi r s(r) \hat{g}(r)), r > 0$$

Donde:

m_i, m_j : Marca del árbol i por marca del árbol j
 μ : Media estimada de las marcas

- **Función Acumulativa de las Marcas** : Esta función es la equivalente a la función K de Ripley y al igual que en ese caso, en la práctica, se utiliza la expresión linealizada.

$$\hat{K}_{mm}(r) = \sum_{0 < \|x_i - x_j\| \leq r} \frac{m_i m_j}{\hat{\lambda}^2 s(\|x_i - x_j\|)}$$

Estimación y Análisis de Resultados

Los resultados obtenidos se muestran en las figuras siguientes, donde se presentan las parcelas 1 y 2 con la posición de todos los individuos de $DAP > 10$ cm.

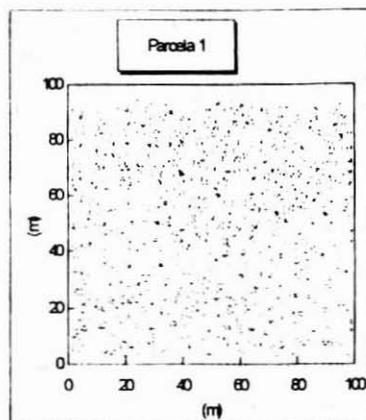


Figura N° 1. DISTRIBUCION ESPACIAL PARCELA 1

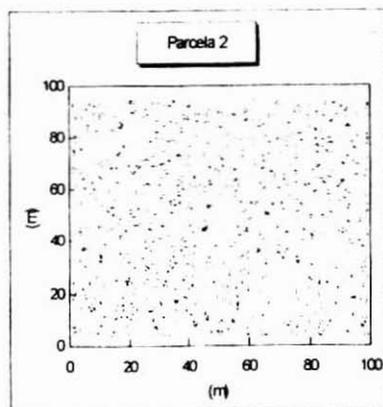


Figura N° 2. DISTRIBUCION ESPACIAL PARCELA 2

A simple vista resulta difícil reconocer algún tipo de patrón en la distribución de los árboles. De acuerdo a los antecedentes, estos renovales de Roble - Raulí se han regenerado hace ya alrededor de 40 años, producto de incendios ocurridos en la zona (Grosse, 1993). Según la conocida capacidad de retoñación que tiene, sobre todo la especie raulí (Vita, 1978) y conforme a lo observado en terreno, donde la mayoría de los individuos son producto de regeneración vegetativa, no es difícil suponer una distribución más bien agregada que aleatoria de los individuos. Sin embargo, esto excluiría la posibilidad que, producto de la competencia o de alguna otra causa de mortalidad, la distribución de los árboles haya sido alterada, manifestando cierta tendencia hacia otro tipo de distribución espacial.

Los Cuadros N^{os}. 1 y 2 describen los correspondientes parámetros medios de cada parcela.

Cuadro N° 1

PARAMETROS MEDIOS DE LA PARCELA 1

Parcela 1 Especie	N° árboles/ha		Área Basal (m ² /ha)		DAP Medio (cm)
Raulí	762	(48,69 %)	26,83	(62,25 %)	19,0
Roble	146	(9,33 %)	8,48	(19,68 %)	28,0
Tepa	90	(5,75 %)	1,44	(3,34 %)	13,4
Lingue	325	(20,77 %)	3,88	(9,00 %)	12,6
Avellano	242	(15,46 %)	2,47	(2,47 %)	10,9
Total	1.565		43,10		

Cuadro N° 2

PARAMETROS MEDIOS DE LA PARCELA 2

Parcela 1 Especie	N° árboles/ha		Area Basal (m ² /ha)		DAP Medio (cm)
Raulí	1.039	(59,92 %)	25,71	(67,76 %)	16,6
Roble	117	(6,75 %)	5,66	(14,92 %)	24,5
Tepa	5	(0,29 %)	0,05	(0,13 %)	10,7
Lingue	387	(22,32 %)	4,70	(12,39 %)	12,7
Avellano	186	(10,73 %)	1,82	(4,80 %)	10,8
Total	1.734		37,94		

De acuerdo a las muestras obtenidas, la edad promedio para la parcela 1 es de 45 años y para la parcela 2 de 41 años.

Como fue mencionado anteriormente, para propósitos del estudio se establecen para cada parcela la población N° 1, correspondiente a las especies roble y raulí, y la población N° 2, que corresponde a las especies tolerantes : avellano, lingue y tepa.

Función Par de Correlación

La población N° 1 comprendida por roble y raulí alcanza valores de la función $g(r)$ cercanos a 4 para distancias cortas (0,5 m), lo que indica una fuerte agregación, comportamiento que se aprecia en ambas parcelas. Los valores de la función disminuyen rápidamente hasta valores inferiores a 1 alrededor de los 2,5 m. De acuerdo a la definición de la función par de correlación, los valores menores a 1 determinan la distribución uniforme. En este caso, la parcela N° 1 alcanza valores de $g(r)$ de 0,76, en tanto que en la parcela N° 2 llega a 0,88. Por otra parte, alrededor de los 5,5 m las curvas correspondientes a cada parcela vuelven a tomar valores muy cercanos a 1, hasta más allá de 15 metros.

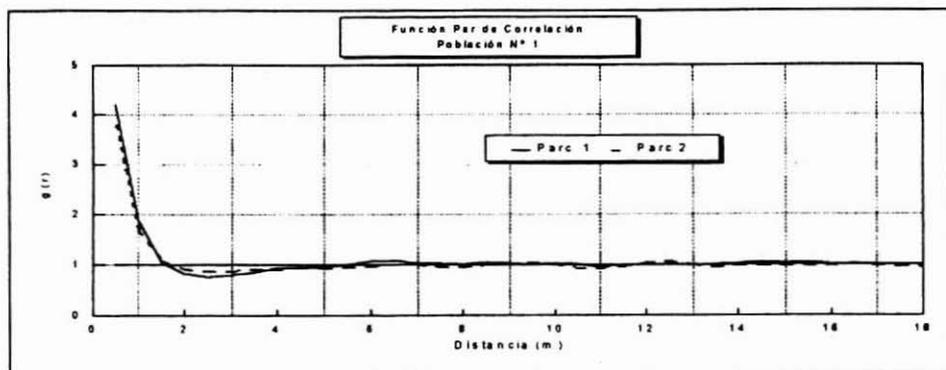


Figura N° 3 a. FUNCION $g(r)$ PARA ESPECIES INTOLERANTES

Este comportamiento indica que, a distancias cortas, existe una fuerte agrupación, debida probablemente a la forma de regeneración de estos bosques, ya que en un mismo tocón se encuentra más de un árbol, lo que provocaría que a cortas distancias los individuos tenderían a ser más frecuentes que a distancias más grandes.

Alrededor de los 2,5 m la frecuencia de individuos es menor que lo que sería en una población aleatoriamente distribuida, reflejando lo que se conoce como un efecto de inhibición provocado posiblemente por la competencia entre individuos.

Más allá de los 5,5 m, según lo observado en la Figura N° 3a, la frecuencia de estas distancias es más bien aleatoria, definiendo una distancia de interacción, ya sea por efectos del micrositio o de la competencia hasta los 5,5 m.

Las curvas de $g(r)$ para la población N° 2 (Figura N° b), de ambas parcelas, también muestran valores de altos, que indican agregación. Sin embargo, en este caso se aproximan a 6, al evaluar la función para la distancia de 0,5 m, siendo más altos que en la población anterior. Como en la población N° 1, también las curvas bajan al aproximarse a los 2,5 m, aunque a diferencia de ella, sólo la parcela N° 2 alcanza valores inferiores a la unidad, 0,82 a los 3 m, y la parcela N°1, en cambio, se desarrolla cercana a uno, pero con valores ligeramente mayores (1,22 a los 9 m).

Según los gráficos de estas figuras, la población compuesta de lingue, avellano y tepa de la parcela N° 1, presenta una distribución fuertemente agregada a distancias cortas, para luego mantenerse con valores cercanos a la unidad, aunque siempre superiores. En tanto que la parcela N° 2, también presenta un valor fuerte de agregación a distancias cortas, pero tal como en la población N° 1, hasta alrededor de los 6 m, los valores de $g(r)$ son algo inferiores a la unidad (0,87), para luego de esta distancia pasar a una distribución prácticamente aleatoria.

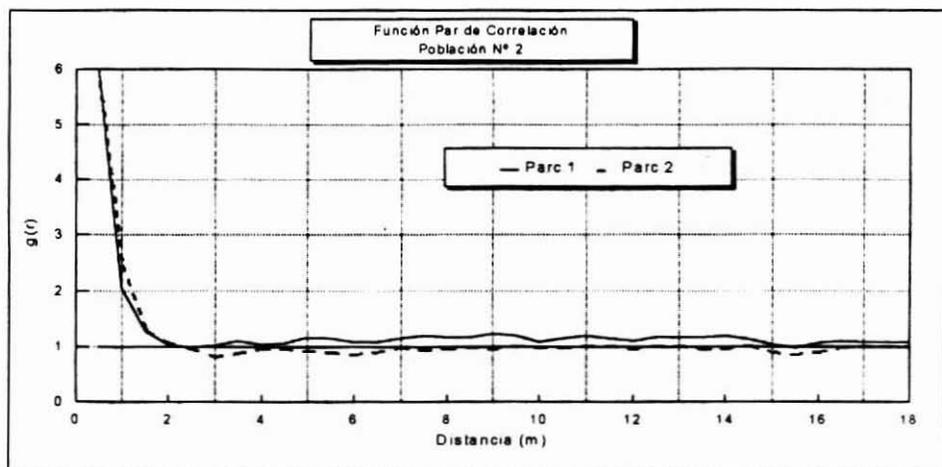


Figura N° 3 b FUNCION $g(r)$ PARA ESPECIES TOLERANTES

La explicación de los altos valores de $g(r)$ alcanzados a 0,5 m, se halla en que la gran mayoría de estas especies ha regenerado por vía vegetativa, pero a diferencia de raulí, por cada tocón se encuentra un elevado número de árboles, lo que hace que aumente la frecuencia de las distancias menores de 1 metro.

El comportamiento de las especies tolerantes e intolerantes en ambas parcelas es similar, con una fuerte agregación a distancias cortas (0 a 2 m), luego con valores de la función inferiores a 1, indicando inhibición (2,5 a 3,5 m), para ser prácticamente aleatorios más allá de los 4 metros.

Función Lineal de K

La función $L(r)$ de la población 1, parcela 1 (Figura N° 4a), indica que sobre los 4 m, la distribución de distancias es aleatoria, por tanto, las relaciones entre especies intolerantes tendrían un límite de interacción de 4 metros, donde se manifiesta una tendencia a la agregación, aspecto ya destacado en la función par de correlación. En la parcela 2 también aparece este límite de 4 m de interacción.

Sin embargo, la curva no evidencia efecto alguno de la competencia al 95% de confianza (representado por las rectas), que si es manifiesto en la función par de correlación. La razón de este fenómeno se encuentra en que la función K de Ripley es una función acumulativa, por tanto, la función lineal también lo es, pero no así la función par de correlación, que representa la distribución de frecuencia de las distancias entre árboles.

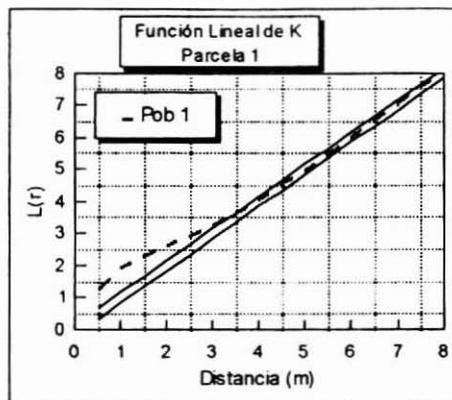
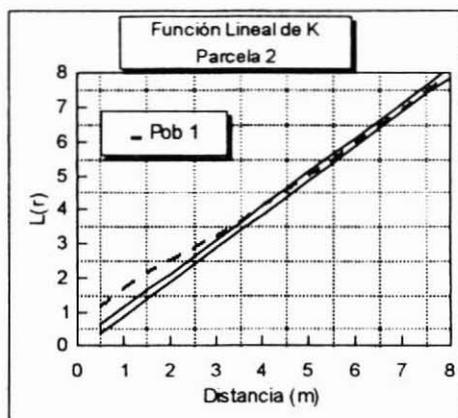
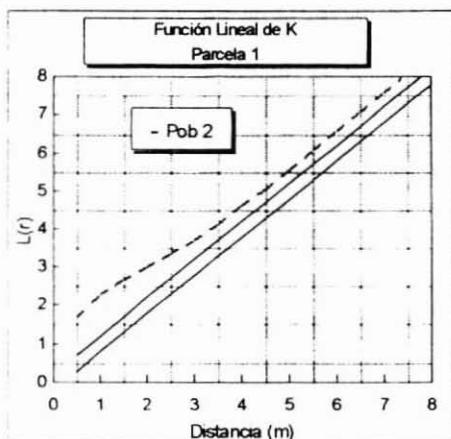


Figura N° 4 a. FUNCION $L(r)$ INTOLERANTES

Figura N° 4 b. FUNCION $L(r)$ INTOLERANTES

La población 2 de la parcela 1 se puede considerar completamente agregada, ya que la curva se mantiene fuera del rango que determina una distribución aleatoria, con un 95% de confianza. En cambio en la parcela 2 alrededor de los 6 metros la distribución de distancias se comporta como una distribución aleatoria. Bajo esta distancia, los árboles se encuentran distribuidos en forma agregada al mismo nivel de confianza.

En general, ambas parcelas no se diferencian demasiado, salvo la población compuesta por lingue, tepa y avellano en la parcela 1, donde la agregación se produce en todo el rango de distancias muestreado.

Figura N° 4 c. FUNCION $L(r)$ TOLERANTES, PARCELA 1

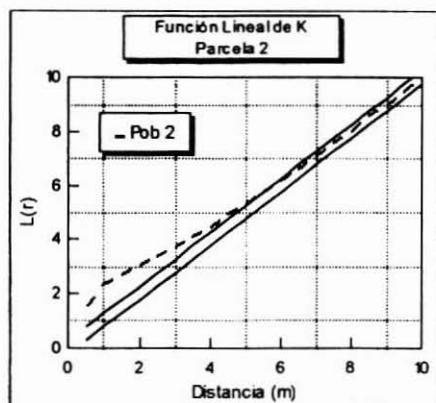


Figura N° 4 d. FUNCION L(r) TOLERANTES, PARCELA 2

Función de Correlación de las Marcas

La función de correlación de las marcas, como la función par de correlación, se analiza comparando el valor de la función con la unidad. Si este valor es igual a la unidad, la distribución espacial de las marcas es aleatoria. En este estudio se usa como "marca" el DAP de los árboles y se entiende que, si el valor de esta función es 1, los diámetros estarán aleatoriamente distribuidos sobre las posiciones, es decir, la distancia a la que se encuentran ubicados un par de árboles no tiene influencia en los diámetros que éstos presenten. Valores pequeños de la función sugieren correlación negativa, o mutua inhibición a esas distancias, y valores positivos de correlación, atracción mutua a tales distancias.

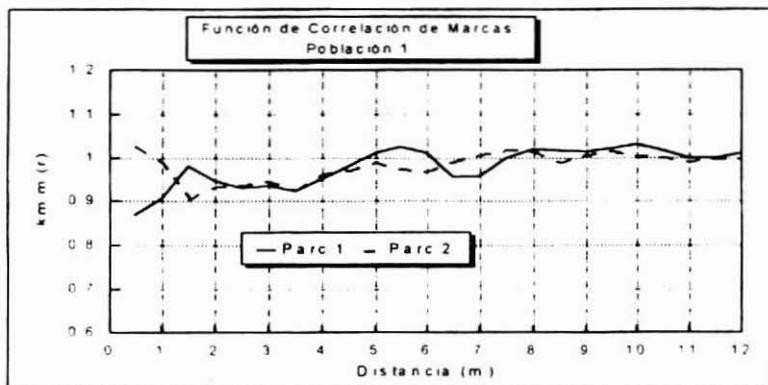


Figura N° 5 a. FUNCION $kmm(r)$ INTOLERANTES

La función $kmm(r)$ para la población N°1 (Figura N° 5a) se mantiene bajo la unidad hasta cerca de los 4 m. Más allá de esa distancia se producen fluctuaciones que se consideran aleatorias. Ambas parcelas sólo se diferencian en los pares de distancia menores a 1,5 m, donde la parcela 1 presenta correlaciones negativas en sus diámetros (inhibición mutua) y la parcela 2 correlaciones positivas (mutua atracción). Esto indica que en la parcela 1 a cortas distancias es preponderante el efecto de la competencia y en la parcela 2 el del microsítio.

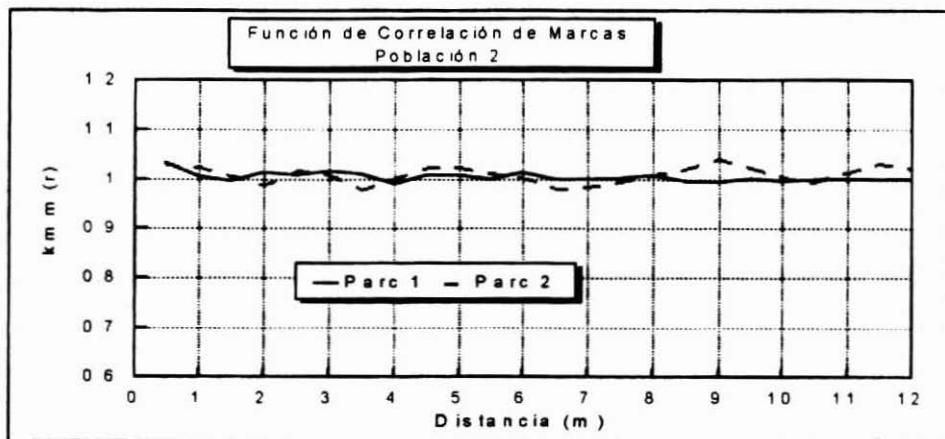


Figura N° 5 b. FUNCION $kmm(r)$ TOLERANTES

La población N° 2 (Figura N° 5b) tiene un comportamiento similar en ambas parcelas, con valores un poco superiores a 1 hasta 1,0 m de distancia entre árboles (1,03 en ambos casos), y con valores que fluctúan alrededor de 1 más allá de esa distancia. Indicando que a distancias menores a 1 m los árboles tienden a una mutua atracción, es decir a cortas distancias los avellanos, lingues y tepas tienen diámetros similares, y a más de 1 metro los diámetros de los árboles son independientes de las distancias a la que se encuentran los pares de árboles. Esto indica que el efecto micrositio es más preponderante en el caso de las especies tolerantes.

En general, en la parcela N° 2 el efecto del micrositio es más evidente sobre los diámetros a distancias cortas, menores a 1 m. A estas mismas distancias en la parcela N° 1 es más preponderante el efecto de la competencia. Esto puede indicar una diferencia en el estado de desarrollo de ambas parcelas, debido a que el efecto preponderante, a edades tempranas, es el del micrositio. Este hecho es más notorio en plantaciones, donde las plantas pequeñas que tienen recursos similares tienden a crecimientos similares. El efecto de la competencia aparece una vez que el recurso se ha vuelto escaso, lo que sucede a una mayor edad.

Sin embargo, ambas parcelas tienen un comportamiento similar sobre 1 m, siendo preponderante el efecto de la competencia, salvo para las especies tolerantes que se mantiene aleatorias más allá de 1 m de distancia.

La distancia de los 5,0 a 5,5 metros en la parcela 1 coincide en la función de las marcas como distancia de interacción, más allá de la cual los diámetros se distribuyen en forma aleatoria, es decir, independiente de las distancias.

Función Lineal de las Marcas

El comportamiento de la población 1, para esta función, es similar para ambas parcelas. Es decir, la curva se desarrolla hasta alrededor de los 3 m fuera de la región de confianza para una distribución aleatoria y por sobre ella. Esta función indica que a distancias que no superen los 3 m, los valores de los diámetros del par de árboles no son aleatorios, lo que implica que el diámetro de un árbol es afectado por otro árbol si este último se encuentra a no más de 3 m de distancia del primero. Sobre los 3 metros los diámetros no son afectados por la distancia entre ellos.

Debido a que la curva durante los primeros 3 metros se desarrolla fuera del rango de una distribución aleatoria, se rechaza la hipótesis de independencia de los diámetros respecto a las distancias. Indicando, además, una fuerte tendencia a la agregación a escalas cortas.

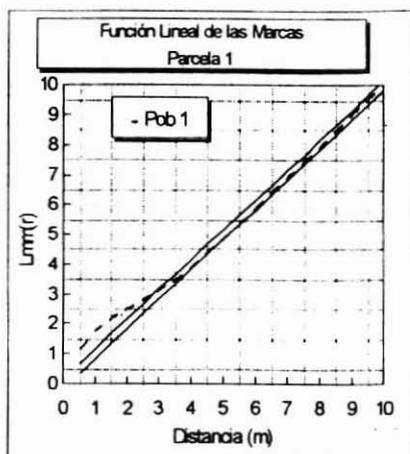


Figura N° 6 a. FUNCION $L_{mm}(r)$ INTOLERANTES, PARCELA 1

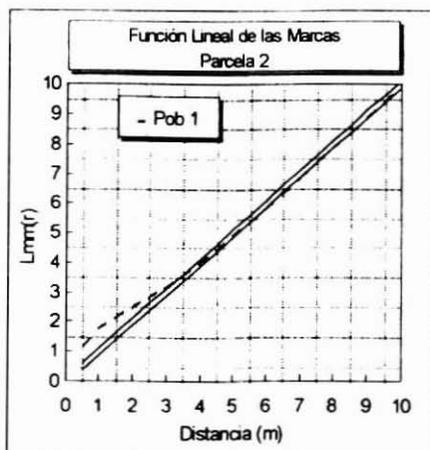


Figura N° 6 b. FUNCION $L_{mm}(r)$ INTOLERANTES, PARCELA 2

Al igual que para la función lineal de K, debido al carácter acumulativo de esta función los valores pueden encubrir tendencias que se manifiestan en la función $kmm(r)$. Lo que al parecer sucede en este caso. Donde, de acuerdo, a la función L la población N° 1 resulta agregada a cortas distancias para ambas parcelas, ocultando el efecto de la competencia que presentaba la función de correlación de las marcas.

En el caso de la población N° 2 y de la parcela 1, el desarrollo de la curva es por sobre la región de aceptación de la hipótesis de independencia, en todo el rango de distancias, lo que indica que esta población es altamente agregada, los diámetros tienden a una atracción mutua. Esto ocurre también en la parcela 2, pero sólo hasta los 6 metros, distancia después de la cual la curva cae dentro de la región de aceptación de la hipótesis nula.

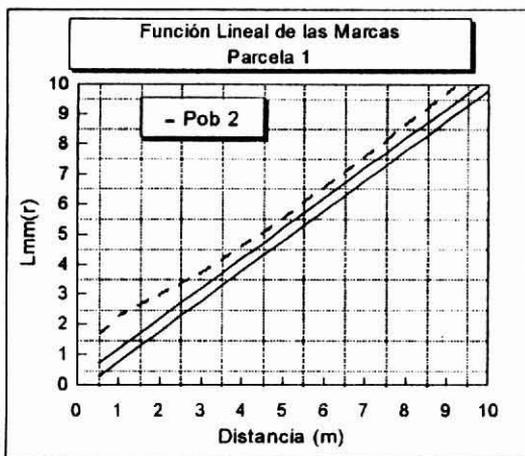


Figura N° 6 c. FUNCION $Lmm(r)$ TOLERANTES, PARCELA 1

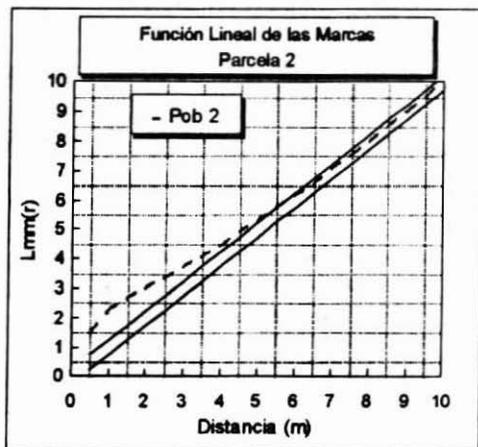


Figura N° 6 d. FUNCION $L_{mm}(r)$ TOLERANTES, PARCELA 2

Interacción entre Especies Tolerantes e Intolerantes

A través del uso de la función par de correlación y al disponer de las posiciones de todos los individuos en una determinada área, es posible calcular la interacción que pudiera existir entre especies o grupos de especies existentes en la misma área. Las Figuras N°s 7a y 7b muestran los gráficos de la evaluación de dicha función para el análisis de la interacción entre las especies tolerantes: avellano, lingue y tepa, y las intolerantes: roble y raulí.

En este análisis se formaron pares con todas las especies de cada parcela, donde cada par estaba formado por una especie intolerante y una tolerante.

La función par de correlación ($g(r)$) para la parcela 1 indica que distancias entre pares menores a 3 m son menos frecuentes que en una población aleatoriamente distribuida, lo que significa una tendencia a la inhibición.

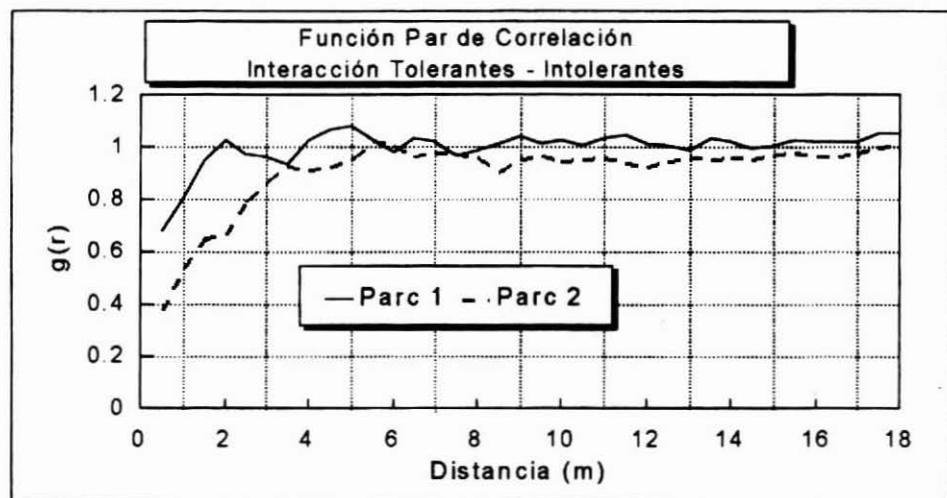


Figura N° 7 a. INTERACCION TOLERANTES - INTOLERANTES

Más allá de esta distancia la función fluctúa alrededor de 1, por lo que se asume aleatoriedad. Para la misma función, la parcela 2 presenta valores más bajos que la parcela 1, y con una distancia máxima de interacción de 5 m. Sobre esta distancia los valores de la función se mantienen cercanos a uno, aunque inferiores. En general el comportamiento de ambas parcelas es similar.

La función de correlación de marcas, en el caso de la parcela 1 presenta valores ligeramente inferiores a 1 hasta 2 m de distancia entre pares, indicando también una interacción con tendencia a la inhibición. Sobre los 2 m las fluctuaciones se asumen aleatorias. La parcela 2 en cambio, sólo fluctúa alrededor de la unidad indicando independencia de los diámetros respecto a las posiciones.

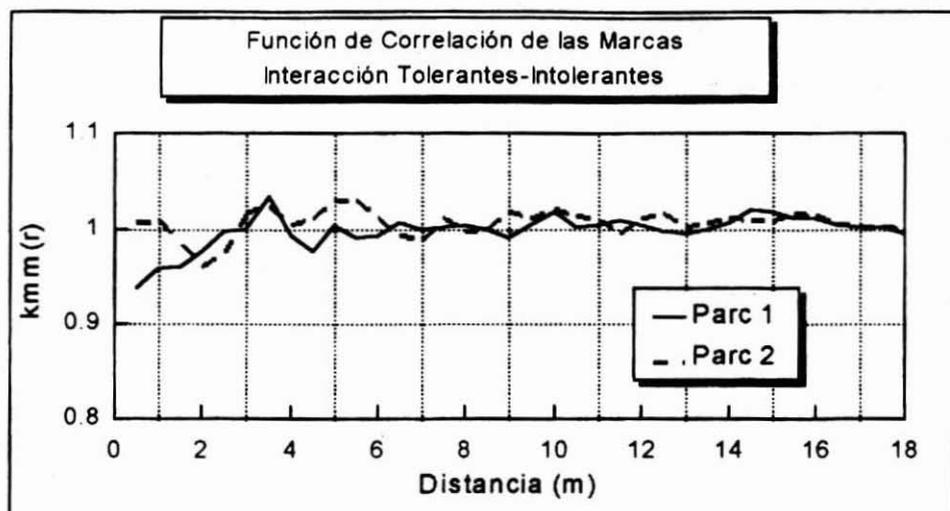


Figura N° 7 b. INTERACCION TOLERANTES - INTOLERANTES (MARCAS)

CONCLUSIONES

Los resultados obtenidos con respecto a la posición, independiente de las marcas, indican que las especies tolerantes, por una parte, y las intolerantes por otra, tienen un comportamiento similar en ambas parcelas, en términos de distribución espacial.

Las especies intolerantes, presentan una distribución agregada hasta distancias cercanas a los 2 metros. Justo en los 2 metros y hasta los 3, se manifiesta una tendencia a la inhibición, y sobre los 4 metros la distribución espacial es al azar.

Las especies tolerantes manifiestan una distribución agregada de todos los pares de árboles que se encuentran a distancias menores o iguales a 2 metros. Los pares de árboles a distancias mayores tienen un comportamiento aleatorio. Salvo en la parcela 1, donde se mantiene el carácter de agregado.

En términos de la interacción entre intolerantes y tolerantes, el comportamiento es distinto. Aquellos pares separados por distancias menores de 5 metros manifiestan una tendencia a la inhibición y no a la agregación, como manifestaron los análisis anteriores. Sobre esa distancia el comportamiento se asume aleatorio.

Que en la interacción se produzca inhibición (uniformidad), significa que tales distancias son menos frecuentes de los que serían de estar la población distribuida al azar. Esto también puede explicarse por la forma de regeneración de estos bosques. La retoñación origina grupos de individuos de la misma especie muy cercanos, por lo que individuos de otras especies deben físicamente estar más distantes, lo que resulta en una distribución de distancias cortas más frecuentes para individuos de la misma especie que para los pares formados con una y otra especie.

El análisis correspondiente a las marcas indica también un comportamiento similar para ambas parcelas.

En el caso de las especies intolerantes hasta distancias menores a 4 metros se presenta mutua inhibición, salvo en la parcela 2 donde a distancias menores a 1 m los diámetros reflejan mutua atracción. Estos fenómenos se reconocen como el efecto del micrositio (García, 1992), que para condiciones del medio similares los diámetros también tienden a ser similares (mutua atracción), y los efectos de la competencia, donde árboles relativamente cercanos están en disputa por los mismo recursos (mutua inhibición), y los diámetros tienden a ser disímiles.

Los diámetros de las especies tolerantes tienden a ser aleatorios respecto de la posición, con valores ligeramente superiores a uno, que podría indicar mutua atracción. Esto se refleja más claramente en la función lineal de las marcas, donde la mutua atracción en la parcela 1 se presenta a lo largo de todas las distancias.

En la interacción, los diámetros de la parcela 2 aparecen independientes de las distancias, no así en la parcela 1, donde los pares de árboles distanciados a menos de 2 metros presentan valores de la función menores a 1, indicando inhibición mutua.

Los cambios en el tipo de distribución espacial que aparecen como resultado en ambas poblaciones, no podrían haberse detectado de no usar métodos de análisis que estudiaran la información a lo largo de todas las distancias.

A través de los resultados se aprecia que la distribución espacial está fuertemente influenciada por la forma de regeneración de estos bosques y que las intervenciones que han tenido lugar no han alterado esta distribución.

Debido también a que el factor preponderante es el método de propagación y es el mismo para ambas poblaciones, ellas presentan un comportamiento similar en término de distribución espacial. Producto de lo anterior y considerando que en general los renovales de Roble - Raulí se han regenerado de igual modo, se espera que en general estos renovales tengan un comportamiento similar, dependiendo de las intervenciones a las que hayan sido sometidos, o del estado evolutivo en que se encuentren.

Debido a lo anteriormente expuesto se puede concluir que:

- Las especies tolerantes e intolerantes compiten en rangos de distancias de hasta 5 m.
- Los diámetros de los individuos intolerantes son afectados por la competencia en los primeros 4 m.
- Los diámetros de las especies tolerantes no evidencian efecto de la distancia entre individuos.
- El mantener distancias de interacción de 5 m entre individuos de roble y raulí, permitiría minimizar el efecto de la competencia, y a su vez acercarse más al crecimiento potencial.

REFERENCIAS

Bahamóndez, C., 1992. Modelo Simulación para Renovales de Roble - Raulí. Informe Final. Estudio Preliminar. Instituto Forestal. Div. Ordenación Forestal e Inventarios.

Berg, E.E.; Hamrick, J.L., 1994. Spatial and Genetic Structure of Two Sandhills Oaks: *Quercus laevis* and *Quercus margaretta* (Fagaceae). American Journal of Botany. Vol 81. N° 1, pp: 7 - 14.

Diggle, J.P., 1983. Statistical Analysis of Spatial Point Patterns. Mathematics in Biology. Sibson & Cohen (Eds). London.

Duncan, R.P.; Stewart, G.H., 1991. The Temporal and Spatial Analysis of Tree Age Distributions. Can. J. For. Res. Vol. 21: 1703 - 1710.

García, O., 1992. What is a Diameter Distribution?. In Minowa, M. and Tsuyuki, S. (Eds), Proceedings of the Symposium on Integrated Forest Management Information Systems - An International Symposium - October 13-18, 1991, Tsukuba, Japan. pag 11-29. Japan Society of Forest Planning Press.

Grosse, H., 1993. Transformación de Bosques Nativos Degradados en Chile. Ciencia e Investigación Forestal (7) 1: 135 - 159.

Mackisack, M.S.; Wood, G.B., 1990. Simulating the Forest and the Point Sampling Process as an Aid in Designing Forest Inventories. Forest Ecology and Management. Vol 38, pp: 79 - 103.

Penttinen, A.; Stoyan, D.; Henttonen, H., 1992. Marked Point Processes in Forest Statistics. Forest Science. Vol 38. N°4, pp: 806 - 824.

Vita, A., 1978. Los Tratamientos Silviculturales. Texto N°1. Universidad de Chile