



PROGRAMA DE SILVICULTURA

EL DISEÑO SISTEMÁTICO NELDER EN LA INVESTIGACION FORESTAL

Sonia Torres* y William Vásquez**

INTRODUCCION

Los diseños aleatorios introducidos por Fisher, tienen algunas ventajas importantes sobre los diseños sistemáticos, como la de estimar sin sesgo la variancia del efecto de los tratamientos y sus promedios. Sin embargo, para experimentos de espaciamiento, la aleatorización puede tener desventajas, al desear mantener forma constante del espacio de crecimiento para varias densidades, de donde resulta parcelas de tamaño diferente con dificultad de ponerlas juntas en un solo bloque (Nelder, 1962).

Las primeras investigaciones silvícolas, particularmente en espaciamientos y raleos, se realizaron en parcelas sin repeticiones debido a la heterogeneidad de los bosques y plantaciones y al gran tamaño requerido (O'Connor, 1935). Tales desventajas parecen superarse a través del uso de diseños sistemáticos, como las curvas de tendencia correlacionada (C.C.T.) de O'Connor (1935), el diseño adoptado por la U.B.C. Research Forester Haney de Smith (1959), el diseño "Clinal Pudden" de Anon (1960), mencionado por Van Slyke (1964a) y el diseño Nelder (1962).

Wright (1976) presenta una revisión histórica sobre los diseños experimentales usados en la investigación silvícola, en la que se menciona el uso más frecuente de los diseños sistemáticos en función de las ventajas que estos ofrecen.

Este artículo es una interpre-

tación de bibliografía seleccionada sobre el diseño sistemático Nelder. En él se resume brevemente aspectos de la instalación del diseño en el campo, su uso en la silvicultura, sus ventajas y desventajas y el análisis posible.

DEFINICION

En 1962 Nelder propuso cinco diseños circulares sistemáticos para estudiar el efecto de los espaciamientos en cultivos agrícolas, cuatro basados en radios y arcos en círculos concéntricos y el quinto en una rejilla logarítmica rectangular (Nelder, 1962, Wright 1976, Van Slyke 1964c).

Los diseños de espaciamiento sistemático son un arreglo espacial de puntos, cada uno representa la posición de una planta; el área por planta y/o la rectangularidad (forma) del espacio de crecimiento disponible cambia de modo sistemático (Nelder, 1962).

Mark (1983) menciona que este es básicamente un diseño de parcelas de un solo árbol, aunque un arco del mismo espaciamiento puede ser observado como un tratamiento.

Utilizando la nomenclatura de Nelder, en el diseño Ia de la figura 1, el área por planta se incrementa

* Bach.for., estudiante postgrado UCR-CATIE

** Ing. For., investigador silvicultural CATIE



conforme aumenta la distancia, los radios sucesivos están separados por un ángulo constante y los arcos por una progresión geométrica de la distancia radial. El espaciamento de las plantas es igual dentro del mismo arco pero se incrementa hacia los arcos externos. La rectangularidad, medida por la relación de la distancia radial entre plantas sobre la distancia cuerda, permanece constante en todo el diseño (Nelder 1962, Van Slyke 1964c, Wright 1976).

Dos adaptaciones son posibles para el diseño Ia (Nelder, 1962); una para evaluar espaciamento triangular y otra para experimentos de competencia con más de una especie.

En el diseño Ib, el ángulo entre radios y el área por planta permanecen constantes, pero la rectangularidad

cambia para cada arco, de un patrón cuadrado a uno rectangular conforme se alejan del origen. El incremento de la distancia entre arcos es relativo a la distancia radial (figura 1).

En los diseños Ic, Id y II, tanto el espaciamento como la rectangularidad cambian en la parcela, y por ser de menor interés hasta el momento en el campo forestal (van Slyke 1964c, Wright 1976), no se consideran en esta interpretación.

Los lotes circulares Nelder son frecuentemente divididos en segmentos para preveer tratamientos variados o repeticiones en la evaluación de especies, utilizando desde uno hasta tres árboles por arco (Mark, 1983).

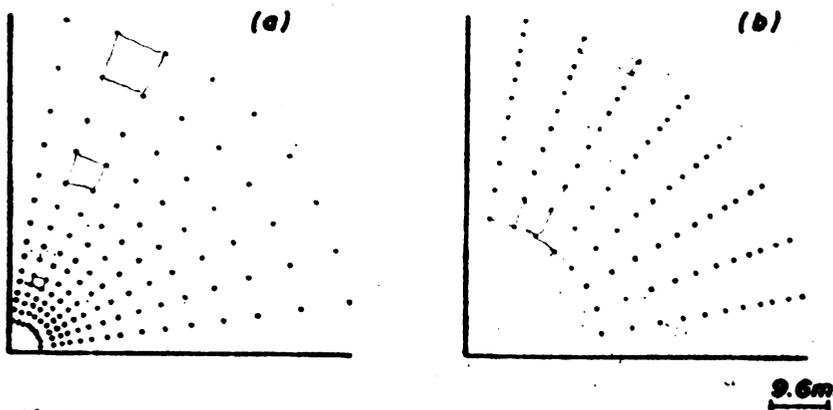


Fig 1.

- a. Diseño Ia : Forma fija, área incrementa con el radio.
- b. Diseño Ib : Área fija, forma cambia con el radio.



ESPECIFICACIONES E INSTALACION DEL DISEÑO NELDER

Especificaciones del Diseño Ia (Nelder 1962; Cailliez 1970)

Las especificaciones del diseño Nelder se establecen definiendo inicialmente el número de espaciamentos a evaluar (n) incluyendo bordes y la superficie correspondiente al espaciamento más estrecho (s1) y al más amplio (sn).

Por razones prácticas, se prefiere que el ángulo entre radios sea un número entero de grados. Las plantas situadas en los círculos de radio ro y rn+1 serán plantas bordes; y si en un mismo círculo se establecen varias especies, uno o dos radios de separación entre especies serán bordes también.

La determinación de ϵ , tasa de incremento del área de crecimiento a lo largo del radio, es definida por la fórmula:

$$\log \epsilon = \frac{\log \left(\frac{sn}{s1} \right)}{2n - 2}$$

La superficie de crecimiento correspondiente a los siguientes espaciamentos es definida por la fórmula:

$$sn = \epsilon^2 Sn-1$$

La distancia del origen al primer punto de plantación (ro), es definida por la fórmula:

$$ro = \sqrt{\frac{R^*(\epsilon^3 - \epsilon)}{2} \times \sqrt{s1}}, \text{ si la disposición de las plantas es en cuadro.}$$

$$ro = \sqrt{\frac{1}{R^*(\epsilon^3 - \epsilon)} \times \sqrt{s1}}, \text{ si la disposición de las plantas es en triángulo}$$

Los radios siguientes se definen por la fórmula

$$rn = \epsilon rn-1 = \epsilon^n ro$$

Las especificaciones pueden reali-

zarse manualmente con calculadoras sencillas o por medio de computadora. Fidaali (1983), presenta un programa escrito en M Basic para el computador Osborne bajo el sistema de operación CPIM y Palmer, H.J. (1985) diseñó su programa Nelder en lenguaje FORTRAN IV para la IBM 4331.

En el cuadro 1 se presentan las especificaciones de uno de los ensayos Nelder Ia establecido en el CATIE en 1985 para la evaluación de Pinus caribaea var. hondurensis y Eucalyptus grandis creciendo en 13 espaciamentos desde 1,17 m x 1,17 m hasta 7,72 m x 7,75 m, con 90° de separación entre radios consecutivos. Las especificaciones se hicieron por medio de programa diseñado en el Palmer's Statistical Package (PSP).

Instalación en el Campo

Como en cualquier ensayo formal, es de suma importancia mapear el sitio disponible, incluyendo los cambios de suelo y de topografía para localizar las parcelas a escala en el plano antes de llevarlas al campo y asegurar así la mayor homogeneidad en cada parcela o repetición (Mark, 1983).

Seleccionada la posición de cada parcela, un poste fijo de madera define el origen de la misma. Una cuerda o cinta metálica marcada previamente con las distancias requeridas es amarrada al poste situado en el origen y extendida a lo largo del primer radio "r" de tal forma que gire libremente. Posteriormente es tensada y fijada en posición horizontal al extremo del último círculo con una vara de madera ó metálica.

* La medida R en radianes de un ángulo que mide G grados (G°) es el número real R igual a: $\frac{\pi G}{180}$



Cuadro 1. Características del Diseño Nelder Ia con 40 Radios en el Círculo y 9 Grados entre Radios

Arco #	Metros al centro	Esp. radial por árbol	Longitud cuerda	Esp. crec. circular	Esp. crec. trapecoide	Rectangularidad	Alfa de Nelder %
Borde	6,37	1,00	1,00	0,79	1,00	1,00	1,17
1	7,46	1,17	1,17	1,08	1,37	1,00	1,17
2	8,73	1,37	1,37	1,47	1,88	1,00	1,17
3	10,21	1,60	1,61	2,02	2,58	1,00	1,17
4	11,95	1,88	1,88	2,76	3,53	1,00	1,17
5	13,99	2,20	2,20	3,78	4,83	1,00	1,17
6	16,37	2,57	2,58	5,18	6,62	1,00	1,17
7	19,16	3,01	3,02	7,10	9,07	1,00	1,17
8	22,42	3,52	3,53	9,72	12,42	1,00	1,17
9	26,24	4,12	4,13	13,31	17,00	1,00	1,17
10	30,71	4,82	4,83	18,23	23,29	1,00	1,17
11	35,93	5,64	5,66	24,97	31,89	1,00	1,17
12	42,05	6,60	6,62	34,20	43,68	1,00	1,17
13	49,21	7,72	7,75	46,84	59,82	1,00	1,17
Borde	57,59	9,04	9,07	64,15	81,93	1,00	1,17

FUENTE: Palmer, J.H. Palmer's Statistical Package (PSP); Programa Nelder. Iurrialba, UK Technical Cooperation Program - CATIE, 1985.

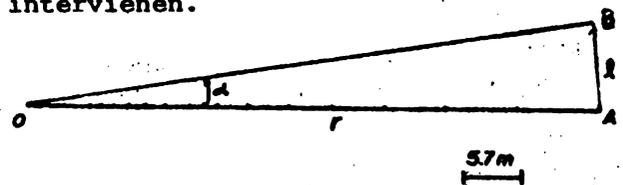
Una vez estaquilladas las marcas correspondientes, la cinta colocada en el primer radio, es movida para marcar el segundo radio de tal forma que las marcas finales de estos radios adyacentes distan $2r \sin \alpha/2$, distancia que es marcada con una segunda cuerda "l". Una brújula debe ser utilizada para reconfirmar el ángulo "α" prefijado.

Para instalar dos radios simultáneamente Nelder (1962) sugiere emplear dos cintas metálicas marcadas previamente, unidas entre sí por una tercera que define el ángulo requerido.

Si se marca primero la circunferencia exterior se puede economizar tiempo, especialmente si se cometieran errores en la medición de los ángulos, aunque un instrumento como el teodolito podría aumentar la precisión.

Una vez marcada la circunferencia exterior se procede a estaquillar los puntos interiores según las marcas de la cinta metálica.

La figura 2 resume la explicación de la instalación del diseño Ia en el campo y las variables que en ella intervienen.



$$l = 2r \sin \alpha/2$$

O = Origen

r = Radio

α = Ángulo constante entre radios consecutivos

A, B = Plantas bordes, en el círculo exterior

Fig 2. Diagrama para la instalación en el campo de un diseño Nelder Ia.



EL DISEÑO NELDER EN LA INVESTIGACION FORESTAL

De los diseños propuestos por Nelder (1962) el Ia y el Ib suelen ser los de mayor interés para el forestal (Van Slyke, 1964 c; Wright, 1976).

Van Slyke (1964b, 1964c), Namkoong (1966), Bleasdale (1967), Vernon y Sundaram (1973), Smith (1978), y Combe y Gewald (1979), entre otros, consideran apropiado el uso de las parcelas Nelder en la silvicultura.

De los estudios reportados, sólo Smith (1978) compara los resultados obtenidos en parcelas Nelder y los obtenidos en parcelas de 49 árboles y de medio acre ($\approx 0,34$ ha). Esa comparación permitió concluir que los resultados obtenidos por medio del diseño Nelder proporcionan información similar a la registrada en los otros tipos de parcelas. Combe y Gewald (1979) presentan resultados similares obtenidos en diseños Nelder y en parcelas de bloques completos al azar, lo que sugiere en primera instancia que el uso del diseño podría ser valedero en la investigación forestal, permitiendo obtener la información en un área más pequeña y con un número menor de plantas, a un costo menor y con tratamientos que poseen igual número de plantas.

A partir de 1975 se ha producido un número mayor de informes sobre la aplicación del diseño en el campo forestal. Su uso ha permitido obtener información sobre el efecto del espaciamiento en las tasas de crecimiento y rendimiento de las especies, en la rectangularidad (Smith, 1978; Daniels y Schutz, 1975), en el genotipo (Namkoong, 1966); Randall, 1979), en los raleos (Smith, 1978) en el efecto de fertilizantes (Armson, 1973; Martínez, 1984), en la eficiencia fotosintética (Lemeur e Impens, 1981), y en la forma del fuste (Adlard

y Richarson, 1976).

VENTAJAS Y DESVENTAJAS DEL USO DEL DISEÑO

Ventajas

Las principales ventajas del diseño son la economía en términos del área y del número de plantas bordes requeridas (Wright, 1976). Además, los tratamientos tienen igual número de plantas (Nelder, 1962); y la evaluación de un amplio número de espaciamientos permite localizar más fácilmente el espaciamiento más adecuado (Cailliez, 1970). Otra ventaja, es el mayor impacto visual de los espaciamientos evaluados (Smith, 1978).

Desventajas

El uso del diseño parece restringirse principalmente por falta de aleatorización de los tratamientos (Wright, 1976). Lo que podría ocasionar confusión en la interpretación de los resultados si hubiera gradientes sistemáticas ocultas, además de restringir el uso del análisis de varianza tradicional (Nelder, 1962).

El establecimiento requiere más cuidado y precisión que si se empleara otros diseños (Freeman, 1964; Mark, 1983). El diseño es altamente sensitivo a la mortalidad (Mark, 1983) y limita el uso de maquinaria (Namkoong 1966) en los espaciamientos menores.

ANALISIS DE LOS RESULTADOS

Los principios básicos del análisis de rendimientos mediante estos diseños sistemáticos han sido resumidos por Nelder (1962). Podría expresarse la relación rectangularidad-densidad-rendimiento por una función apropiada y estimar los parámetros desconocidos en ésta para cada bloque o se podría analizar los valores de los parámetros de los bloques individuales como si ellos constituyeran una muestra central sistemática del área y se le trataría

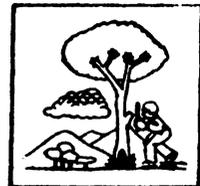


como si fuera aleatoria. Se tendría el probable inconveniente que cierta clase de variación periódica desconocida esté presente.

Van Slyke (1964b, 1964c), sugiere que el análisis de regresión parece ser más apropiado y proporciona más información, debido al mayor número de espaciamientos evaluados. La graficación preliminar de las variables mostrará la tendencia que permita hacer el mejor ajuste de los efectos del espaciamiento, para cuantificar las variables evaluadas en diferentes densidades.

BIBLIOGRAFIA

- ADLARD, P.G. y RICHARSON, K.F. (1976)
Stand density and stem paper in Pinus patula.
In Wright, H.L. Experiments as a source of data for growth models. Oxford, Commonwealth Forestry Institute, 14 p.
- ARMSON, K.A. (1973)
Forest fertilization studies at the Englehart Managements Unit.
In Evert, F. Annotated bibliography on initial tree spacing. Ottawa, Ontario, Canadian Forestry Service, Department of the Environment. Information report FMR-X-SO of Project number 86, p. 39.
- BLEASDALE, J. (1967)
Systematic designs for spacing experiments.
Experimental Agriculture 3(1): 73-85.
- CAILLILEZ, F. (1970)
Dispositifs de Nelder pour essais d'espacement.
Centre Technique Forestier Tropical, Statistique note no.8, 14 p.
- COMBE, J. y GEWALD N.H. eds. (1979)
Guía de campo de los ensayos forestales del CATIE.
Turrialba, Costa Rica, CATIE. pp. 168-176.
- DANIELS, F.W. y SCHUTZ, C. J. (1975)
Rectangular planting patterns in Pinus patula stands in the Eastern Transvaal.
Forestry in South Africa 16:61-62.
- FIDAALI, L. (1983)
Documentation for the systematic spacings designs program.
In Huxley, P.A. Systematic designs for field experimentation with multipurpose trees. Nairobi. Kenya. International Council for Research in Agroforestry. Working Paper no. 12. pp. 2.1-2.5.
- FREEMAN, G.H. (1964)
Use of a systematic design for a spacing trial with a tropical tree crop.
Biometrics 20:200-203.
- LEMEUR R., J.P. e IMPENS, I.I. (1981)
Stand architecture, biomass production, energy flow and production, efficiency in a man made poplar ecosystem.
In International Union of Forest Research World Congress, 17th Kyoto, Japan, 1981. Proceedings Division 1. Japan, IUFRO. pp. 205-225.
- MARK, W.B. (1983)
Spacing trials using the Nelder wheel.
In Workshop on Eucalyptus in California, 19, Sacramento, California, 1983. Documents. California, Forest Service, pp. 81-85.



- MARTINEZ, H. et al (1984)
Guía de las parcelas forestales de Guatemala.
CATIE-INAFOR. pp. 68-71.
- NAMKOONG, G. (1966)
Application of Nelder's designs in tree improvement research. Southern Conference on Forest Tree Improvement, 8 th, Savannah, Georgia, 1965. Wacon, Georgia, Forest Research council. pp. 34-37.
- NELDER, J.A. (1962)
New kinds of a systematic designs for spacing experiments. Biometrics 18(30):283-307.
- O'CONNOR., A.J. (1935)
Forest research with special referene to planting distances and thinning. South Africa, British Empire Forestry Conference.
- RANDAL, W.K. (1979)
Study of intraespecific competition in cotton wood using Nelder's design. U.S. Southern Forest Experiment Station. Final report no. 4110 FS-SO-1110-5.6. 23 p.
- SMITH, J.H.G. (1959)
Comprehensive and economical designs for studies of spacing and thinning. Forest Science 5(3):237-245.
- SMITH, J.H.G. (1978)
Design factors from Nelder and other spacing trials to age 20. Commonwealth Forestry Review. 57(2):109-119.
- VAN SLYKE, A. (1964a)
Analysis of Nelder systematic spacing designs. Vancouver, Canada, University of British columbia, Faculty of Forestry, 12 p.
- _____. (1964b)
New spacing trials are needed. Forestry Chronicle 40(3):398-399.
- _____. (1964c)
Study spacing and thinning with Nelder's new systematic designs. Vancouver, Canada, University of British Columbia, Faculty of Forestry, 11 p.
- VERNON, A.J. y SUNDARAM, S. (1973)
Design and establishment of a cocoa spacing trial at Waidraga. Experimental Agriculture 35:43-50.
- WRIGHT, H.L. (1976)
Experiments as a source of data for growth models: In IUFRO World Congress, 16th Norway, 1976. Proceedings Division IV. Norway, IUFRO. pp. 60-73