LA APLICACION DEL CUADRADO GRECOLATINO EN LA EXPERIMENTACION FORESTAL

Francisco A. Quiroga Zea
Profesor Asistente
Universidad del Tolima, Ibagué

A. Introducción

Las ciencias forestales por su estado actual de Desarrollo en la América Tropical exige especial interés en los estudios de carácter experimental. Son muchos los aspectos que se desconocen, especialmente en el manejo de los bosques naturales y de las plantaciones.

Los estudios de carácter experimental en las ciencias forestales, especialmente en la silvicultura y en la ordenación presentan unas características, tales como: sus largos períodos de duración, parcelas experimentales relativamente grandes, mayores esfuerzos y recursos en el cuidado de las parcelas y en el levantamiento de las observaciones; características que implican costos relativamente altos.

Esta situación exige la necesidad de no escatimar esfuerzos en la profundización del estudio de las mejores técnicas metodológicas experimentales que tengan en cuenta dichas características y en forma tal, que con la suficiente precisión disminuya al máximo los costos de la experimentación. Se deben hacer los ensayos de las metodologías que parezcan adecuadas a dichas condiciones y tratar de quitar, en muchos de los técnicos de campo que tienen que ver con la experimentación, el "temor" a su utilización; aunque en primera instancia parezcan un poco sofisticados, pero que, como lo ha demostrado la experiencia, al aplicarlos son muchas las ventajas que reportan

El presente trabajo plantea la aplicación de un diseño experimental que parece indicar condiciones ventajosas para su utilización en la experimentación forestal. Por razones obvias, no se hace una exposición matemática del modelo estadístico en que se basa el diseño, sino que se exponen los objetivos y condiciones para su aplicación práctica, así como la descripción de la técnica y de los cálculos que son necesarios realizar.

B. Objetivos del Diseño

Son dos principalmente: (1) cuando el experimentador conoce de antemano que existen dos fuentes (factores) de variación independientes y que inciden de manera especial en el material

experimental, se hace necesario su control para evitar una pérdida de precisión y poder, por lo tanto, disminuír la extensión del experimento. (2) Poder realizar sobre un mismo diseño ya montado en el campo varios experimentos a través del tiempo. Es decir, sobre las mismas parcelas establecidas para probar diferentes niveles de un factor en un primer experimento, poder montar otros experimentos en forma sucesiva que prueben diferentes niveles de otros factores.

Por ejemplo, supóngase que se desea estudiar diferentes métodos de plantación y que se conoce que el tipo de suelo y las horas en que se realiza la plantación son dos factores independientes que inciden de manera especial en el posterior desarrollo de las plántulas. Aquí es necesario controlar estos dos factores para que la variación producida por ellos no recaiga toda sobre el error experimental y así disminuír las posibilidades de poder detectar, si existen, las diferencias entre los métodos de plantación; es decir, el no control de éstos factores hace perder eficiencia de cualquier experimento.

Por otro lado, supóngase que efectivamente se controlaron estos dos factores y que se hicieron las pruebas estadísticas necesarias para el estudio de las diferencias entre los diferentes métodos de plantación propuestos, y que el investigador está ahora interesado en probar si existen diferencias entre diferentes métodos de limpia. El cuadrado grecolatino permite montar sobre las parcelas del primer experimento este segundo experimento, evitando así el montaje de nuevas parcelas experimentales. Después de este segundo experimento si el investigador desea conocer los efectos de diferentes intensidades de corta, igualmente el cuadrado grecolatino puede permitirle montar este tercer experimento, sobre las mismas parcelas. La pregunta que surge es: Cuántos experimentos puede montar sobre las mismas parcelas? , en el siguiente punto se dará respuesta; de todas maneras, las ventajas económicas pueden claramente verse.

C. Descripción del Diseño

Como el cuadrado grecolatino es un diseño de varios cuadrados latinos sobre las mismas unidades experimentales, se hará una breve descripción, en primer término, del cuadrado latino.

Tómese como base el siguiente diagrama:

	Col 1	Col.2	Col.3	Col.4
Fila 1	A	B	C	D
Fila 2	C	D	A	B
Fila 3	B	C	D	A
Fila 4	D	A	B	C

Este corresponde a un cuadrado latino cuatro por cuatro. Se exige: que el número de tratamientos^t (niveles del factor que se desea estudiar; en el ejemplo propuesto serían los métodos de plantación) sea igual al número de columnas e igual al número de filas - resultan por lo tanto t^2 parcelas -; en cada fila y en cada columna deben aparecer una y solo una vez cada tratamiento (letras latinas); las columnas deben distribuírse aleatoriamente y posteriormente las filas (también puede hacerse a la inversa).

La clave de la eficiencia del diseño esta en que a los niveles de un factor de variación se les asignen las filas y a los del otro las columnas. En el ejemplo supuesto, se puede asignar a los diferentes tipos de suelo las diferentes filas, y a las diferentes horas de plantación las columnas. Una restricción es que el número de niveles en los dos factores de variación debe ser igual.

En el campo no necesariamente debe quedar una disposición cuadrada de las parcelas, sino que bien pueden quedar completamente dispersas de acuerdo a la distribución de los diferentes tipos de suelo; lo que se exige es que cada parcela quede muy bien identificada con relación al diagrama.

El cuadrado grecolatino se forma disponiendo un nuevo cuadrado latino sobre el ya existente. Como entra un nuevo factor de estudio, se asignarán a sus diferentes niveles letras griegas y se dispondrán sobre el anterior cuadrado en forma tal que, cada letra griega aparezca una y solo una vez en cada fila, en cada columna y con cada letra latina. Lógicamente el número de niveles del nuevo factor debe ser igual al número de filas y columnas. El siguiente diagrama ilustra el caso.

Cuadrado Grecolatino 5 x 5

Aa	Bb	Cc	Dd	Ee
Bc	Cd	De	Ea	Ab
Ce	Da	Eb	Ac	Bd
Db	Ec	Ad	Be	Ca
Ed	Ae	Ba	Cb	Dc

Resulta así, que a la parcela correspondiente, por ejemplo, a la fila dos y a la columna 3, se le asignará el nivel del primer factor correspondiente a la letra D y el nivel del segundo factor correspondiente a la letra griega epsilon (E).

Una condición que exige el modelo es de que no exista interacción entre los factores que se estudian. Esta condición debe analizarse antes de iniciarse el experimento para evitar posteriores complicaciones; en el ejemplo supuesto, es muy posible que los métodos de plantación, después del tiempo que transcurre para iniciar las limpias, no interaccione con los métodos de limpia o, que la interacción sea pequeña tal que se pueda asumir que no existe.

Otra condición que exige el diseño es de que antes de la asignación de los tratamientos a las parcelas en el campo de aleatorizarse las filas y las columnas independientemente y que los diferentes niveles (tratamientos) de los factores que se estudian se asignen también aleatoriamente a las letras latinas y griegas respectivamente.

Cuando se introduce un nuevo factor de estudio, entonces se asignarán a los niveles del nuevo factor números arábigos en forma tal que cada número arábigo aparezca una y sólo una vez en cada fila y cada columna y solo una vez con cada letra latina y griega.

Igual procedimiento debe seguirse cuando se siguen aumentando los factores de estudio. A continuación se presenta un cuadrado grecolatino 7 x 7 y con cuatro factores de estudio fuera de los dos factores asignados a las filas y columnas. No están aleatorizadas las filas y columnas.

			Medias
Medias	$\bar{x}_{.1}$	$\bar{x}_{.2}\ldots$	$\bar{\bar{x}}$

De esta tabla debe construírse la siguiente:

Griegas / Latinas	a	b	c	d	e	Totales Letras latinas	Medias
A	Aa	Ab	Ac	. . .		x_A	$\bar{x}_A$
B	Ba	Bb	Bc	. . .		x_B	$\bar{x}_B$
C	"	"	"			.	
D	"	"	"			.	
E	"	"	"				
Totales Letras griegas	x_a	x_b				x	
Medias	$\bar{x}_a$	$\bar{x}_b$					$\bar{\bar{x}}$

Bc : Indica la observación obtenida para el nivel correspondiente a B y al nivel c de los factores respectivos.

La tabla de análisis de varianza sería:

Fuente de variación	Grados de Libertad	Suma de cuadrados
Filas	4	$5\sum (\bar{x}_{i.} - \bar{\bar{x}})^2$
Columnas	4	$5\sum (\bar{x}_{.j} - \bar{\bar{x}})^2$
Letras latinas	4	$5\sum (\bar{x}_{..k} - \bar{\bar{x}})^2$
Letras griegas	4	$5\sum (\bar{x}_{..h} - \bar{\bar{x}})^2$
Error	8	Por diferencia
Total	24	$\sum_{ij} (x_{ij} - \bar{\bar{x}})^2$

Las fórmulas de las sumas de cuadrados pueden transformarse algebraicamente a las formas más simples para cálculos por los métodos conocidos.

Las dócimas se hacen para letras latinas y griegas con los cuadrados medios respectivos sobre el cuadrado medio del error.

Caso 7 x 7

Se pueden disponer seis factores, incluyendo las correspondientes a filas y columnas.

a. Para el análisis del primer experimento (tres factores) se reduce a un cuadrado latino simple 7 x 7.

b. Para el análisis del segundo experimento (cuatro factores) se sigue idéntico procedimiento que para el caso anterior.

Las tablas de cálculo se construyen de igual forma. La tabla de análisis de varianza es:

Fuente de Variación	Grados de Libertad	Suma de Cuadrados
Filas	6	$7\sum (\bar{x}_{i.} - \bar{x})^2$
Columnas	6	$7\sum (\bar{x}_{.j} - \bar{x})^2$
Letras latinas	6	$7\sum (\bar{x}_{k} - \bar{x})^2$
Letras griegas	6	$7\sum (\bar{x}_{h} - \bar{x})^2$
Error	24	Por diferencia
Total	48	$\sum_{ij} (x_{ij} - \bar{x})^2$

c. Para el análisis del tercer experimento (cinco factores) las tablas y fórmulas necesarias son:

Observación por parcela: x_{ijkhl} correspondiente a la ila i-ésima, a la columna j-ésima, a la letra latina k-ésima, a la letra griega h-ésima y al número arábigo l-ésimo.

Las tablas de cálculo se construyen de manera análoga, agregando una que resuma los datos para los niveles correspondientes a los números arábigos.

La tabla de análisis de varianza es:

Fuente de Variación	Grados de Libertad	Suma de Cuadrados
Filas	6	
Columnas	6	
Letras latinas	6	Idem anterior tabla
Letras griegas	6	
Número arábigos	6	$7\sum(\bar{x}_e - \bar{x})^2$
Error	18	Por diferencia
Total	48	

d. Para el análisis del cuarto experimento (seis factores las tablas y fórmulas son:

Observación por parcela: x_{ijklm}, el sub-índice m corresponde al nivel respectivo de los número romanos.

Las tablas de cálculos se construyen de manera análoga agregando una de doble entrada para número romanos y números arábigos.

La tabla de análisis de varianza es:

Fuente de Variación	Grados de Libertad	Suma de cuadrados
Filas	6	
Columnas	6	
Letras latinas	6	Idem anterior tabla
Letras griegas	6	
Números arábigos	6	
Números romanos	6	$7\sum(\bar{x}_m - \bar{x})^2$
Error	12	Por diferencia
Total	48	

Nota

Si hay posibilidades de utilizar un cuadrado grecolatino 5 x 5 o 7 x 7 es conveniente diseñarlo desde el comienzo como si fuera a utilizar totalmente, así no se hayan determinado completamente los distintos experimentos que podrían hacerse. Por lo tanto, debe construirse el diagrama respectivo, aleatorizarse filas y columnas y asignar, a medida que se vayan planteando los nuevos experimentos, los niveles de los nuevos factores aleatoriamente a las letras o números respectivo.

BIBLIOGRAFIA

1. Cochran y Cox. "Experimental Designe" John Wilay y Sons. 2a. Editión New York. 1966.

2. Jejfers, J. "Experimental Design and Analysin in Forest Research". Almguist y Wiksell. Stockholm. 1960.

3. Kempthorne, Oscar. "The Design and Analysis of Experiments". John Wiley y Sons. London. 6a Edition 1967.

4. Mood, Alexander. "Introducción a la Teoría de la Estadística". Aguilar. Madrid. 2a. Edición 1960.