

UNA REVISIÓN ANALÍTICA DE DISEÑOS Y MÉTODOS ESTADÍSTICOS EN CIENCIAS AGRICOLAS

An analytical review of statistical methods and designs in agricultural science

Orlando Martínez W. ¹; Ricardo Galindo ².

RESUMEN

Con el fin de evaluar la frecuencia del uso de diferentes diseños experimentales y técnicas estadísticas aplicadas a la investigación agrícola, se realizó una revisión de los artículos de seis revistas científicas internacionales (*Agronomy Journal*, *Crop Science*, *Plant Physiology*, *Phytopathology*, *Plant Disease*, *Journal of Economic Entomology*) y de la revista ICA para el período 1990 - 1992. Se observó la concentración del uso de los diseños Completamente al Azar y Bloques al Azar en un 71% de los experimentos y la prueba DSM de Fisher en un 49% de los casos, para la comparación de medias de tratamientos. También, se midió la frecuencia del uso de los arreglos Factoriales y Análisis de Regresión, muestreo dentro del diseño y repeticiones en el tiempo y el espacio. Se destacó la poca utilización de diseños incompletos, a pesar de haber un gran número de ensayos con más de 50 tratamientos.

Palabras Claves

Métodos Experimentales, Técnicas Estadísticas, Selección de Diseños Experimentales.

SUMMARY

Scientific papers of six wellknown international journal of agricultural research (*Agronomy Journal*, *Crop Science*, *Plant Physiology*, *Phytopathology*, *Plant Disease*, *Journal of Economic Entomology*) and the Revista ICA of Colombia, were revised taking the 1990-1992 years as a sample period. The objective of this review was to evaluate the frequency of the experimental designs

commonly used in agricultural research, to observe the statistical techniques more frequently applied in data analysis, and to assess the importance and acceptance of these statistical tools in agronomy. According to the results, the Randomized Complete Block Design and the Completely Random Design were observed in 71% of the experiments. The Fisher LSD was used to separate treatment means in 49% of the cases. The frequency of factorial experiments, regression analysis, subsampling techniques and repetitions in time and space were also analyzed. Despite of the size of some experiments with more than 50 treatments, the frequency of Incomplete Block Designs was very low.

Keywords

Experimental Methods, Statistical Techniques, Experimental Design.

INTRODUCCION

El ámbito donde se desarrolla la investigación agrícola comprende fincas de agricultores, estaciones experimentales, invernaderos y laboratorios. En los ensayos de campo, debido a las condiciones difícilmente homogéneas del terreno y del ambiente, se hace necesario el uso de técnicas que ayuden a controlar el error experimental para mantenerlo en niveles adecuados de precisión. En los experimentos de laboratorio, la limitación de espacio y de equipos frente a un ensayo con un número grande de tratamientos exige el uso de diseños experimentales apropiados. En el invernadero, donde la situación es intermedia, también existe limitación de espacio y material, aunque las condiciones dentro del mismo son bastante homogéneas.

La complejidad del diseño experimental, que se decida utilizar en cualquiera de estas condiciones, depende del alcance de la investigación, la disponibilidad de medios

¹ División de Biometría, Instituto Colombiano Agropecuario, ICA, Bogotá, D.C.

² Profesor Asociado Facultad de Agronomía, Bogotá, D. C.

económicos, la cantidad de factores y tratamientos que se deseen evaluar y de otras consideraciones. Actualmente, existen diseños experimentales que permiten resolver los problemas de la heterogeneidad del medio de experimentación, junto con el uso de un número considerable de tratamientos y factores. Sin embargo, un diseño experimental complejo exige mayor cuidado y conocimiento en la planeación, ejecución y análisis de los resultados, lo cual obliga al investigador a entrar en un área de la estadística donde puede tener una formación insuficiente. Esto significa que el desarrollo de nuevos diseños experimentales debe ir acorde con las necesidades de los investigadores y con su nivel de comprensión de las técnicas implicadas.

En el presente trabajo, se plantea, mediante la revisión de artículos científicos de seis revistas internacionales y una nacional, una descripción analítica de los diseños utilizados actualmente en la experimentación agrícola. Entre las revistas incluídas, están *Agronomy Journal* y *Crop Science*, de la American Society of Agronomy, con 12.536 suscriptores de 118 países y las revistas *Phytopathology* y *Plant Disease*, de la American Phytopathological Society, con alrededor de 4.320 suscriptores.

Los resultados de esta revisión permiten evaluar, por parte del investigador, el grado de aceptación, ya sea por su bondad y precisión o por la comodidad del uso, los diseños experimentales disponibles en la investigación agrícola.

MATERIALES Y METODOS:

Seis revistas especializadas en el área de investigación agrícola y de una reconocida trayectoria y cobertura internacional. Se seleccionaron y, además, para tener una muestra de los métodos experimentales utilizados en el país, se incluyó la revista del Instituto Colombiano Agropecuario (ICA).

En el Cuadro 1, se presenta la información sobre los nombres de las revistas. En algunas de ellas, los artículos técnicos y científicos se han clasificado por áreas. Para el análisis de la información, se limitó a escoger las áreas que incluían ensayos experimentales en campo, laboratorio e invernadero.

De estas revistas, se tomaron, como universo muestral, las publicaciones en los años 1990 a 1992. Esto significa un total de 5775 artículos, de los cuales el 44% incluyeron temas que no involucraron ensayos o pruebas estadísticas.

Cuadro 1. Revistas Científicas y Areas de Investigación utilizadas para la Revisión de Diseños Experimentales

Revista	Disciplina del conocimiento
AGRONOMY JOURNAL	AGRONOMIA, SUELOS
CROP SCIENCE	MEJORAMIENTO DE CULTIVOS, GENETICA Y CITOLOGIA, FISILOGIA DE CULTIVOS Y METABOLISMO
PLANT PHYSIOLOGY	AMBIENTE Y SU IMPACTO EN LA FISILOGIA VEGETAL
PHYTOPATHOLOGY	ECOLOGIA Y EPIDEMIOLOGIA
PLANT DISEASE	FITOPATOLOGIA
JOURNAL OF ECONOMIC	ECOLOGIA Y COMPORTAMIENTO, ENTOMOLOGIA ENTOMOLOGÍA HORTICOLA, CULTIVOS DE HILERA, FORRAJES Y GRANOS MENORES.
REVISTA ICA	AGRONOMIA

Entre los temas que se descartaron para el análisis están, entre otros, los artículos técnicos de presentación de software, innovación de técnicas de laboratorio, métodos de bioestadística y simulación; tampoco, se consideraron los resultados descriptivos de investigaciones básicas, como la biología molecular, regulación genética, biología celular y estructural, histología, etiología, metabolismo y enzimología y otras más; finalmente, no se incluyeron áreas diferentes a la agronomía, como la entomología forestal, entomología de muebles y estructuras y otras.

Los artículos que mostraron resultados analizados estadísticamente fueron 3234. Aproximadamente, un 84% de estos artículos hizo alusión al uso de diseños experimentales; el

porcentaje restante presentó resultados de muestreos en campo sin aplicación de tratamientos y, para la presente investigación, no se tuvieron en cuenta.

De la muestra de los artículos, se tomó la información referente al diseño experimental empleado, la frecuencia del uso de arreglos factoriales, las pruebas utilizadas para la comparación de medias de tratamientos, la frecuencia del uso de las repeticiones en el tiempo y el espacio y la frecuencia del uso de las técnicas de muestreo y análisis de regresión (lineal o no lineal).

RESULTADOS Y DISCUSION

A continuación, se presentan, para todas las revistas los resultados globales de las variables analizadas en la muestra de los artículos científicos.

El número de tratamientos es un componente importante para la selección del diseño experimental, porque está directamente relacionado con el tamaño del bloque o sub-bloque y, por ende, del error experimental. El número de tratamientos tuvo una distribución diferente a la normal (similar a una geométrica, según la Figura 1). El promedio fue de seis y la mediana de 12 tratamientos por ensayo. Se observaron casos con más de 300 tratamientos.

En cuanto al tipo de diseños experimentales utilizados en la investigación agrícola, se observó que los diseños predominantes fueron el "Completamente al Azar", y el de "Bloques Completos al Azar". En la Figura 2, se presentan los datos respectivos de frecuencias y porcentajes relativas al total muestral. La característica general es utilizar el diseño completamente al azar para la experimentación en laboratorio y el diseño de bloques completos al azar, para la experimentación en campo.

Por su importancia y, especialmente, para la experimentación agrícola en el campo cuando se emplean dos o más factores, que por diferentes razones (precisión, naturaleza del factor) no se pueden experimentar en bloques completos al azar ó completamente al azar, se incluyó aparte el diseño de parcelas divididas.

Aunque el número de tratamientos que se dispuso en algunos ensayos puede ser alto, no se observó

el uso de diseños de látices o bloques incompletos que podrían ser recomendables en estos casos y, especialmente, para las condiciones de campo. Algunos ensayos con un gran número de tratamientos se asumieron dentro del diseño completamente al azar y correspondieron a medidas de laboratorio u observaciones de campo que se hicieron en un gran número de individuos en diferentes situaciones.

Posiblemente, por la escasez de software e igualmente de métodos estadísticos que resuelvan con facilidad y eficiencia las pruebas de hipótesis planteadas con el experimento, falta motivación por parte del investigador para usar diseños diferentes. Esto es especialmente cierto para los casos en que se presenta desbalance en la información por pérdida de material durante el ensayo, como, también, en los diseños de bloques incompletos ó lattices.

En cuanto a la utilización de técnicas estadísticas para la experimentación y el análisis de resultados, se tuvieron en cuenta el uso de muestreo dentro del diseño experimental, los arreglos factoriales, las pruebas de comparación para medias de tratamientos, el análisis de regresión y las repeticiones en el tiempo y/o el espacio.

En la Figura 3, se presenta, en porcentaje con respecto al total de ensayos muestreados la información referente al empleo de cada una de estas técnicas estadísticas dentro del diseño experimental.

En la Figura 4, se observa la frecuencia de muestreo para cada uno de los diseños experimentales evaluados. En los ensayos de laboratorio, por lo común, no se hace necesario realizar muestreos y se trabaja generalmente dentro de un diseño completamente al azar, lo cual explica el bajo porcentaje de uso de esta técnica. En el campo, la necesidad de muestreo depende principalmente de la naturaleza de la variable respuesta y, en un mismo ensayo, algunas variables se aplican a la unidad experimental y otras variables, a la unidad muestral. En general, la técnica de muestrear del bloque es conveniente desde el punto de vista estadístico, porque conduce a una mejor estimación del efecto de los tratamientos y, en algunos casos, a disminuir el error experimental.

El uso de arreglos factoriales es una técnica común en cualquier diseño experimental. En la Figura 5, se presenta, para cada uno de los diseños experimentales, la proporción de experimentos que emplearon arreglos factoriales. En los experimentos donde no se usaron factoriales, puede decirse que se trabajaron, como tratamientos, los niveles de un sólo factor.

En cuanto a las pruebas de comparación de medias de tratamientos utilizadas en estos ensayos, se observó que, en un 30 % de los artículos que hacían referencia a ensayos experimentales, no se incluía ninguna prueba de comparación. En un 39 % de los casos, ésto se debió a que se utilizó análisis de regresión y, en el porcentaje restante, a que incluían sólo algunas estadísticas descriptivas (tamaño de muestra, error estándar o desviación estándar), ó análisis multivariados.

En los ensayos donde se utilizaron pruebas para comparar tratamientos, la "diferencia mínima significativa" (LSD) se utilizó en un 49% de los casos (véase la Figura 6). Le siguieron los contrastes, que, en su mayoría, fueron ortogonales y se utilizaron para probar tendencias en la respuesta medida. Entre las pruebas de comparación múltiple, figuraron la Duncan y la Tukey, en proporción 3:1. Entre las pruebas adicionales, estuvieron la de Student-Newman-Keuls, Waller-Duncan y Bonferroni. Para el caso colombiano, se observó poco uso de los contrastes, lo cual implica perder la eficiencia que se deriva del conocimiento de la estructura de los tratamientos para hacer pruebas de comparación preplaneadas.

En muchos de los artículos que incluyeron pruebas de contrastes de tendencia, se observó el uso del análisis de regresión, especialmente para ajustar modelos polinomiales. También, se utilizó el análisis de regresión para el ajuste de modelos no lineales. El porcentaje de ensayos que emplearon esta metodología fue del 25% (Figura 3).

Las repeticiones de un mismo ensayo, en el tiempo y/o el espacio, son algo frecuente en algunas investigaciones, tanto de campo como de laboratorio. En muchos casos, siempre y cuando se cumpla con la homogeneidad de varianza necesaria entre ensayos, los resultados se combinan para analizarlos conjuntamente. Con ésto se logran mejorar las estimaciones de

los tratamientos y el error experimental. El porcentaje de ensayos que registraron más de una repetición del ensayo total, bien en tiempo o espacio, fue de 70% (Figura 3). Para el caso de la Revista ICA, se observó que muchos artículos no mencionaron la realización de repeticiones en el tiempo y/o el espacio. En estos casos, el alcance de los resultados puede verse limitado por la gran heterogeneidad del ambiente en nuestras condiciones.

CONCLUSIONES

Los diseños experimentales más utilizados en la investigación agrícola en los años 1990-92, según los resultados del muestreo de siete revistas científicas nacionales e internacionales, son el completamente al azar y el de bloques completos al azar en un 71%. Los arreglos factoriales se dispusieron en parcelas divididas, en un 26% de los casos. Otros diseños experimentales, a pesar de la ocurrencia de ensayos con un gran número de tratamientos, tuvieron muy poca frecuencia (1%).

En cuanto al empleo de pruebas de comparación múltiple, se observa la concentración de uso de cuatro pruebas, en un 94% de los casos evaluados, en el siguiente orden: DMS en primer lugar, seguido de contrastes, la Prueba Duncan, y la Prueba Tukey. Este resultado refleja el énfasis del investigador en el control del error de comparaciones entre medias de tratamientos, a riesgo de aumentar el error tipo I a nivel global del experimento.

El uso de técnicas multivariadas fué reducido y limitado casi exclusivamente al campo de la experimentación en genética y mejoramiento vegetal. Sin embargo, con el fin de extraer más información valiosa de los experimentos, las posibilidades de esta metodología son muy grandes y deben extenderse a otras áreas.

Para el caso colombiano, se recomienda aumentar el uso de contrastes y comparaciones preplaneadas. También, para aumentar el alcance de las interferencias, se hace necesario la repetición de los ensayos en el tiempo y el espacio. En este esfuerzo, el muestreo es una metodología auxiliar y de gran ayuda para reducir costos y obtener estimaciones confiables.

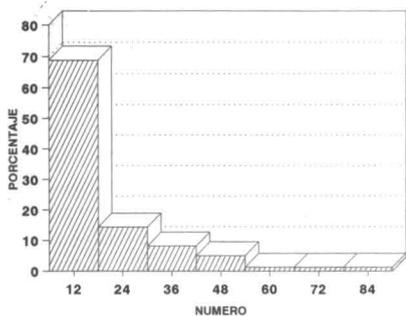


FIGURA 1. Numero de Tratamientos por Ensayo en Experimentos Agrícolas

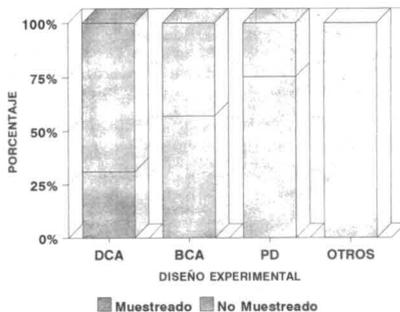


FIGURA 4. Frecuencia del Muestreo por Diseño Experimental en la Investigación Agrícola

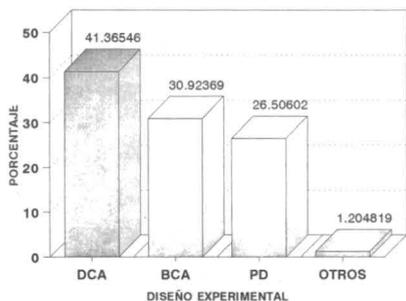


FIGURA 2. Diseños Experimentales Usados en la Investigación Agrícola según Siete Revistas Científicas

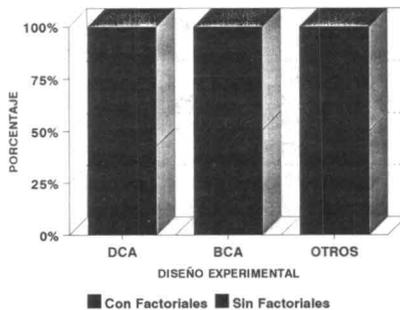


FIGURA 5. Porcentaje de Ensayos con Arreglos Factoriales en la Investigación Agrícola

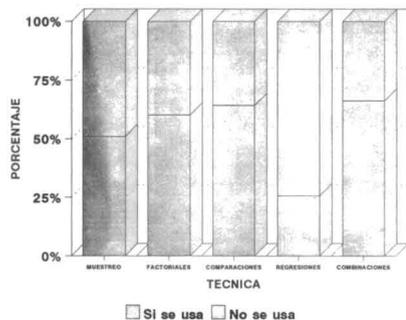


FIGURA 3. Métodos Estadísticos Aplicados en los Ensayos Agrícolas

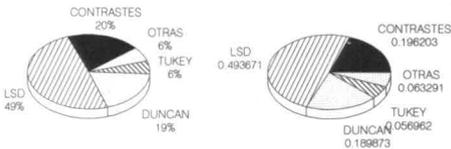


FIGURA 6. Pruebas de Comparación para Medias de Tratamiento Utilizadas en la Investigación Agrícola

LITERATURA CITADA

1. Agronomy Journal. 1990-1992. Vol. 82-84.
2. Crop Science. 1990-1992. Vol. 30-32.
3. Journal of Economic Entomology. 1990-1992. Vol. 83-85.
4. Phytopathology. 1990-1992. Vol. 82-84.
5. Plant Disease. 1990-1992. Vol. 71-73.
6. Plant Physiology. 1990-1992. Vol.
7. Revista ICA. 1990-1992. Vol. 25-27.