

## Diseños experimentales: breve semblanza de su importancia en las ciencias naturales

Victor Aguirre Hidalgo\*

### Resumen

**Diseños experimentales: breve semblanza de su importancia en las ciencias naturales.** *A pesar de que hace más de un siglo el estadístico Benjamín Disraeli acuñara la famosa frase “Hay tres clases de mentiras: mentiras, viles mentiras y estadística”, todavía a la fecha el uso y la importancia de esta área de las matemáticas sigue siendo tan pobre para la gente común, que continúa vigente dicha frase y es posible utilizar a la estadística para avalar cualquier cosa. No por nada Andrew Lang dijo “algunas personas utilizan la estadística como un borracho utiliza los postes del alumbrado público: como apoyo más que cómo iluminación”. En la biología el uso de herramientas estadísticas cada vez es más importante. Por tal motivo en el siguiente trabajo se genera la idea de la importancia que tiene dominar los fundamentos mínimos del mundo estadístico, partiendo en primera instancia de la necesidad de crear las condiciones idóneas para tener datos óptimamente analizables. Una rama de la estadística que muchas veces se minimiza es la del diseño de experimentos. En este trabajo hago referencia a la importancia que tiene dedicar un gran esfuerzo en edificar el trabajo experimental utilizando como cimientos las herramientas del diseño experimental. Doy ejemplos, tanto teóricos como prácticos, del diseño completamente al azar y posteriormente menciono la manera*

### Abstract

**Experimental designs: a brief sketch of its importance in the natural sciences.** *More than a century ago statesman Benjamin Disraeli coined the famous phrase “There are three kinds of lies: lies, damned lies, and statistics.” Nowadays, statistics is so poorly understood by most ordinary people that this Disraeli quotation is still applied without losing vigency. Even in some cases, statistics represents the hobbyhorse for people interested in highlighting some common information in order to make it important. It was with this in mind that Andrew Lang said “some researchers use statistics like a drunken man uses lamppost; for support rather than as enlightenment”. In biology, statistics is increasingly important. It is in this context that new biologists need at least a minimum background in statistical tools in order to gather a large amount of good analytical data. Designed Experiments is an important brand in statistical science, although frequently minimized in most of the research in natural science. In this work I attempt to show how profitable it is, in terms of information quality, to spend a good quantity of time focused on using designed experimental tools. I give examples, both theoretical and practical, of random sample designing and the way in which the results of this experiment can be analyzed using ANOVA.*

### Résumé

**plans d'expériences: description brève de leur importance en sciences naturelles.** *La célèbre phrase du statisticien Benjamin Disraeli : “Il y a trois sortes de mensonges: les mensonges, les fieffés mensonges, et les statistiques” formulée voilà plus d'un siècle, demeure d'actualité. En effet, encore de nos jours, l'usage et l'importance de cette branche des mathématiques demeure si limitée pour le commun des mortels, qu'il est possible d'utiliser les statistiques pour corroborer quoi que ce soit. Ce n'est pas pour rien qu'Andrew Lang a dit “certains utilisent les statistiques comme l'ivrogne les lampadaires : pour s'appuyer plutôt que pour s'éclairer”. Les outils statistiques sont de plus en plus utilisés en biologie. C'est pourquoi, le présent travail souligne l'importance de la maîtrise des bases indispensables de la statistique, en partant de la nécessité de créer les conditions optimales afin de disposer de données pleinement analysables. Les plans d'expériences, une des branches de la statistique, sont bien souvent sous-estimés. Elaborer minutieusement le travail expérimental, sur la base des outils des plans d'expériences, s'avère particulièrement important. Des exemples, théoriques et pratiques, du plan d'expérience entièrement aléatoire sont apportés. Ils sont suivis par une note sur la manière d'analyser les résultats obtenus avec l'analyse*

\* Instituto de Estudios Ambientales, Departamento de Biología, Universidad de la Sierra Juárez, Avenida Universidad S/N, Ixtlan de Juárez, Oaxaca, C.P. 68725, México.  
Correo electrónico: victor@juppa.unsj.edu.mx

en que los resultados de este experimento pueden ser analizables utilizando el análisis de varianza. El trabajo no intenta ser una receta de pasos para hacer un experimento, ni una receta de cómo analizar los datos. Es un ejemplo del proceso que cualquier investigador tiene que hacer para obtener resultados invaluable y de buena calidad.

*This is neither a step recipe research nor the only way to analyze information, but an example of the process followed by researchers interested in generating valuable and good statistics for quality data.*

*de varianza. Le travail ne prétend pas dicter la manière de conduire une expérience, ni d'analyser les données. Il constitue un exemple du processus que chaque chercheur doit suivre afin d'obtenir des résultats utiles et de bonne qualité.*

**Palabras clave:** Análisis de varianza, diseño completamente al azar, diseño estadístico, experimento.

**Key words:** Analysis of variance, random design, statistical design, experiment.

**Mots clefs:** Analyse de varianza, plan d'expérience entièrement aléatoire, plan statistique, expérience.

## Introducción

En la era actual los estudios puramente descriptivos en biología se han centrado en aspectos taxonómicos y de evolución de rasgos morfológicos, fisiológicos y anatómicos. Aunque todavía es importante realizar trabajos en esas áreas, ya que existen un gran número de seres vivos por describir (May 1988, 1990, 1992), su frecuencia es cada vez menor en relación a los trabajos experimentales. Por ejemplo: en el campo de la ecología, el porcentaje de estudios experimentales publicados durante las décadas de los '50 y '60 fué menos de 5%, mientras que en la década de los '80 este porcentaje se incrementó a cerca de 35% (Hairston 1989).

Hasta este momento se ha sobre-entendido el término experimento. Para la mayoría de los investigadores resulta casi obvio su significado, no así para las generaciones de nuevos estudiantes interesados en las áreas experimentales de la biología.

En general un experimento se define como un procedimiento mediante el cual se trata de comprobar, confirmar o verificar una o varias hipótesis relacionadas con un determinado fenómeno, mediante la manipulación de una o más variables (Perez-Tamayo 2008).

La definición que han planteado científicos de alguna área de la biología no resulta muy diferente a la manejada más genéricamente, por ejemplo, Krebs (1989) la explica como un conjunto de observaciones dirigidas a poner a prueba una hipótesis acerca de la naturaleza.

Tomando como base la definición de experimento, el concepto de diseño experimental tiene por lo tanto que estar muy relacionado. El diseño experimental se puede entender como la estructura lógica de un experimento, es decir; es una parte del proceso científico destinado a la planificación y análisis de un experimento, de tal forma que se conjunten una serie de datos analizables estadísticamente y sea factible la generación de conclusiones válidas y objetivas sobre la manera en que funcionan los sistemas o procesos estudiados (Fundibeq.org 2010). Galindo-Leal (1997) puntualiza que es en este momento cuando el investigador debe especificar entre otros aspectos los siguientes:

- El tipo de unidades experimentales.
- El número y tipo de tratamientos a aplicar, incluyendo los tratamientos de control.
- Las variables o propiedades a medir de las unidades experimentales.
- La asignación de tratamientos a las unidades experimentales.
- El número de réplicas de las unidades experimentales.
- Si es posible, el arreglo espacial de las unidades experimentales.
- Los momentos espaciales y temporales en los que se realizarán las mediciones.

Cabe mencionar que aún antes de la realización del diseño experimental se requiere tener el mayor conocimiento posible de las condiciones iniciales del sistema o unidad experimental, dicho conocimiento justificará los dos últimos aspectos del diseño experimental.

Además de lo especificado anteriormente, el experimento debe garantizar mínimamente los siguientes requisitos (Fundibeq.org 2010):

- Poder elegir una de las dos hipótesis estadísticas propuestas.
- Reconocer a la mayoría de las variables no controladas para así identificar los posibles errores de medida.
- Identificar las causas que generen variación en la respuesta, a pesar de no haber sido consideradas como hipótesis.
- Tomar en cuenta los costos de la experimentación.
- Tener un alto grado de seguridad en las respuestas.
- Influir lo menos posible o identificar el grado de influencia que tendrá el experimentador durante el desarrollo del experimento.

Un estudio bien diseñado y bien realizado permite establecer, casi unívocamente, el tipo de relación existente entre las variables comparadas, y por lo tanto, el tipo de análisis estadístico a realizar; de tal forma que sea factible la formulación de conclusiones y probables recomendaciones. Por lo tanto, resalta la importancia que tiene el realizar y revisar cuidadosamente el diseño a seguir, ya que representa la estructura lógica de un experimento (Galindo-Leal 1997).

En virtud de lo descrito en los párrafos anteriores, queda claro que el diseño y ejecución de un experimento son los componentes que requieren mucha atención por parte del experimentador. Si el análisis estadístico fue incorrecto o la interpretación de los resultados es errónea, los datos pueden volver a ser analizados; por otro lado, si los errores se cometieron en el diseño o ejecución del experimento habrá la necesidad de descartar tanto el diseño como los datos originales, y por lo tanto volver a repetir el experimento. ¿Se imaginan las repercusiones de este evento cuando hay que entregar informes al patrocinador? Tener la habilidad para distinguir entre conclusiones válidas de las que son gravemente defectuosas requiere el conocer las suposiciones básicas tanto de un diseño experimental, como de las pruebas estadísticas a ocupar.

El presente trabajo tiene como objetivo mostrar los puntos básicos a tomar en cuenta

cuando se pretende realizar un diseño experimental analizable estadísticamente, tomando como base el diseño completo al azar.

## Antecedentes

### Diseño de experimento estadístico

El diseño experimental, en el análisis estadístico, involucra determinar la forma en que los diferentes tratamientos o factores son asignados a las unidades experimentales y la elección del tamaño muestral. Tomando como base el diseño experimental es que se determina el modelo estadístico a utilizar y no viceversa (Winer *et al.* 1991). El principal propósito de la estadística es ofrecer herramientas objetivas para el análisis de los datos recopilados. En particular, el objetivo de la estadística experimental se centra en la planeación, ejecución, toma y análisis de datos. Como principal orquestador de esta área está Ronald Fisher quien se dedicó a desarrollar métodos estadísticos que le permitieran proponer conclusiones a diversos fenómenos de estudio (López-Bautista 2008).

Existen varios tipos de diseños experimentales, como son: a) diseño completamente al azar; b) diseño en bloques completos al azar; c) diseños con dos o más factores; d) diseños factoriales a dos niveles. En particular, este trabajo se enfocará en el diseño completamente al azar.

### Diseño completamente al azar

Es el diseño más sencillo, solamente se estudia el efecto de un factor, el cual varía sólo en los tratamientos. En este diseño se toman en cuenta los principios de repetición y aleatorización.

Se utiliza cuando no se requiere la incorporación de tratamientos control, el ambiente experimental es homogéneo y las variables experimentales se asignan a los tratamientos o factores de manera aleatoria. El término aleatorio, para este trabajo, hace referencia a la asignación de los diferentes tratamientos al azar para disminuir la probable sobre-ocurrencia de algún efecto no controlado (extraño), de tal manera que todas las observaciones tengan la misma probabilidad de ser registradas. Con este tipo de muestreo se pretende: a) reducir la influencia no predeterminable de variables

extrañas sobre los resultados del experimento, b) evitar la dependencia entre observaciones y c) le da sustento a los procedimientos de análisis estadísticos (Fundibeq.org 2010).

Siendo este el diseño más simple, sus ventajas se reflejan principalmente durante el análisis estadístico ya que la información es relativamente fácil de interpretar, no se generan dificultades en el análisis estadístico debido a la pérdida de observaciones experimentales, y reúne el mayor número de grados de libertad en el residuo, en comparación con otros diseños. En virtud de que se está trabajando con un diseño experimental, y que por lo tanto no se tiene representado los datos de la población de estudio sino sólo un subconjunto de ellos (muestra), se requiere hacer un ajuste en los parámetros de variación muestral. Dicho ajuste se le conoce como grados de libertad, el cual es un estimador del número de categorías independientes en una prueba particular o experimento estadístico y se representa generalmente como  $n-1$ , donde  $n$ =número de sujetos en la muestra.

Una de las desventajas es el efecto poblacional, es decir: a menos de que se trate de poblaciones pequeñas o de estructura muy simple, resulta difícil realizar un muestreo de forma eficaz. Puede ocurrir que el número de unidades experimentales (individuos, grupos, parcelas, jaulas, animales, plantas, etc.) sea tan grande que no sea fácil o viable tener lugares de las dimensiones necesarias y que además mantengan la homogeneidad requerida. Además, este diseño no incluye algún término que represente la variabilidad debido al ambiente, por lo que si su efecto es fuerte tenderá a incrementar el término de error, perdiendo potencia para detectar diferencias significativas, al no poder diferenciar entre las dos fuentes de variación: la del tratamiento y la del ambiente. (Fig. 1).

Este tipo de diseños son más idóneos para experimentos de laboratorio, invernadero, animales de bioterio, es decir, en lugares donde se puedan controlar las variables ambientales.

#### Modelo estadístico asociado al diseño

El modelo general asociado al diseño completamente al azar toma en cuenta los tratamientos

y separa la magnitud del error asociado. Es decir, partiendo de la función general:

$$\text{Observación} = f(\text{efectos, error aleatorio})$$

El modelo completamente al azar separa el efecto del error aleatorio y lo cuantifica, lo cual se puede expresar de la siguiente forma:

$$\begin{aligned} \text{Diseño completamente al azar:} \\ y = \text{tratamiento} + \text{error} \end{aligned}$$

El modelo matemático asociado a la expresión anterior sería:

$$y_{ij} = \mu_i + \varepsilon_{ij}$$

Donde:  $i=1, 2, 3, \dots, t$  y  $j=1, 2, 3, \dots, r$ .

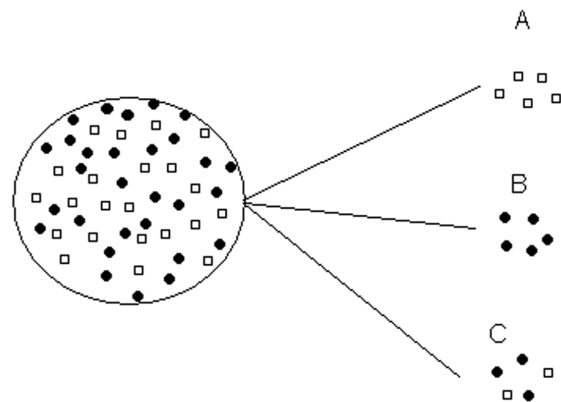
$\mu$ = media real, pero desconocida de las respuestas del  $i$ -ésimo tratamiento.

$\varepsilon_{ij}$ = variable aleatoria que representa el error o "ruido" de la variación total y otras posibles fuentes de error aleatorio y no aleatorio.

En conclusión: el "diseño completamente al azar" se caracteriza porque todas las muestras son homogéneas, por lo que solo hay un grupo o bloque de observaciones y las muestras pueden ser asignadas a los tratamientos completamente al azar.

Por ejemplo:

Un herpetólogo quiere determinar la temperatura a la cual las lagartijas comienzan a mostrar actividad. Él propone un rango de cinco temperaturas. Por lo tanto la estructura del experimento es de un solo factor (lagartijas) con cinco niveles (temperaturas). En este experimento se está asumiendo homogeneidad en las características morfológicas



**Figura 1.** Posibilidades al muestrear una población. A y B muestran resultados sesgados a una característica de la población. C muestreo homogéneo.



y fisiológicas de las lagartijas (Similar edad, peso, tamaño, región geográfica, entre otras).

Por lo tanto, si se tienen 20 lagartijas y todas ellas cumplen con los requerimientos antes señalados, es factible usar el diseño completamente al azar donde a cuatro lagartijas, elegidas al azar, se exponen a una de las cinco temperaturas.

A manera de representación tabular el experimento tendría un factor (temperatura) con  $t$  tratamientos (rangos de temperatura) y  $r$  repeticiones (grupos) y quedaría representado como se observa en la Tabla I.

Para este tipo de diseño la hipótesis estadística planteada sería:

Ho:  $\tau = \tau_i$  (Todos los tratamientos producen el mismo efecto; es decir: La actividad de las lagartijas es la misma independientemente de la temperatura).

Ha:  $\tau \neq \tau_i$  (No todos los tratamientos producen el mismo efecto; es decir: La actividad de las lagartijas no va a ser la misma en cada temperatura).

El modelo estadístico asociado a este experimento sería:

$$y_{ij} = \mu + \tau_i + \varepsilon_{ij}$$

Donde:  $i=1, 2, 3, \dots, t$  y  $j=1, 2, 3, \dots, r$ .

Con:

$y_{ij}$  = Variable de respuesta de la  $ij$ -ésima unidad experimental

$\mu$  = Media general de la variable respuesta

$\tau_i$  = Efecto del  $i$ -ésimo tratamiento (nivel del factor) en la variable dependiente.

$\varepsilon_{ij}$  = Error experimental asociado a la  $ij$ -ésima unidad experimental.

Con este tipo de conformación se está manejando el supuesto que los errores son independientes, están normalmente distribuidos con media cero y varianza constante, la varianza es homogénea entre los tratamientos y el modelo es lineal y de efectos aditivos.

El diseño del experimento es el primer paso antes de realizar el trabajo, como siguiente procedimiento es la ejecución de la toma de datos. En biología es frecuente la imposibilidad de realizar experimentos prospectivos, porque o bien se tiene que invertir en tiempo o se incrementa demasiado el costo del trabajo.

**Tabla I.** Representación de un diseño experimental con cuatro repeticiones y cinco temperaturas diferentes

Temperaturas	Repeticiones				$Y_i$
	1	2	3	4	
1	$Y_{11}$	$Y_{12}$	$Y_{13}$	$Y_{14}$	$Y_1$
2	$Y_{21}$	$Y_{22}$	$Y_{23}$	$Y_{24}$	$Y_2$
3	$Y_{31}$	$Y_{32}$	$Y_{33}$	$Y_{34}$	$Y_3$
4	$Y_{41}$	$Y_{42}$	$Y_{43}$	$Y_{44}$	$Y_4$
5	$Y_{51}$	$Y_{52}$	$Y_{53}$	$Y_{54}$	$Y_5$

No es extraño que para conseguir datos se tenga que seguir un ciclo ambiental, lo que generalmente implica un lapso de tiempo de un año entre ciclo y ciclo, o los investigadores tengan que trasladarse cientos, si no es que miles, de kilómetros para solamente llegar al área de estudio. En el caso que sea posible, es muy recomendable tener una descripción previa de área, las condiciones y el esfuerzo requerido para tener un buen tamaño de muestra.

#### Análisis estadístico

Como paso obvio después de recolectar los datos es realizar el análisis estadístico que mejor se ajuste al tipo de datos colectados. La Figura 2 puede ayudar a determinar cuál análisis realizar.

El diseño del experimento involucra comparar las medias de las cinco temperaturas, por lo que el realizar comparaciones pareadas entre las cinco temperaturas (prueba  $t$ ) involucraría realizar 10 pruebas. Además de que se aumenta la probabilidad de cometer el error tipo I de 5% (el comúnmente utilizado) al 22%. Esto es:  $1-0.05 = 0.95$ , como se aplican cinco comparaciones el error sería  $(0.95^5 = 0.773)$ , por lo tanto  $1-0.773 = 0.22$ . Es decir, un criterio de error mucho más grande que el comúnmente aceptado por la comunidad científica.

A partir del esquema anterior se puede observar que el análisis estadístico adecuado, para el diseño experimental de las lagartijas, tiene que ser aquel que compare diferencias entre medias para más de dos muestras.

Como los datos están conformados por cinco tratamientos (diferentes temperaturas), la prueba estadística idónea es el análisis de varianza (ANOVA), esta prueba es en esencia un procedimiento aritmético que consiste en

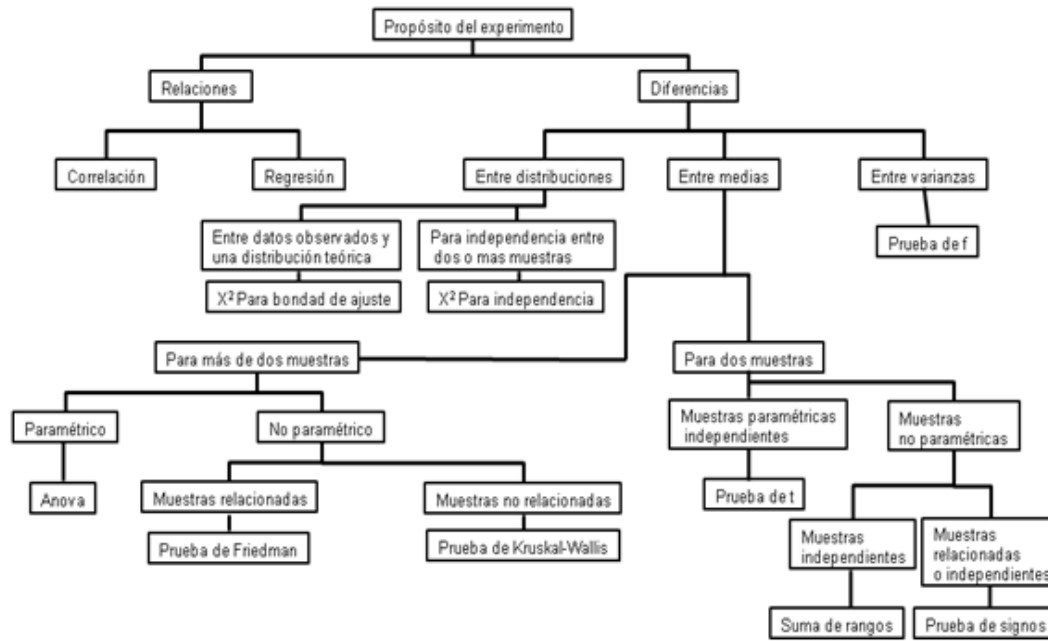


Figura 2. Esquema de decisiones para relizar pruebas estadísticas (basado en Ambrose & Peckham 1987).

descomponer una suma de cuadrados total (variación total) en fuentes de variación reconocidas, incluyendo la variación que no se ha podido medir, nombrada comúnmente como error experimental.

Las suposiciones que los datos deben cumplir para utilizar este análisis es una independencia entre las observaciones, una escala de medición continua, observaciones con una distribución normal y la varianza de la muestra debe ser homogénea. En un principio el diseño experimental permite suponer que los datos cumplen con dichos requerimientos por lo que la prueba puede ser utilizada.

El propósito de este ejercicio no es explicar el sustento teórico, de cada proceso matemático involucrado en el análisis de varianza, por lo que se presenta en la Tabla II un resumen general de sus componentes.

Tabla II. Resumen estadístico del análisis de varianza

Fuente de variación (FV)	Grados de libertad (gl)	Suma de Cuadrados (SC)	Cuadrados Medios (CM)	Valor de F
Tratamientos	t-1	$\sum_{i=1}^t \frac{y_i^2}{r} - \frac{y^2}{tr}$	$\frac{SC_{trat}}{gl_{trat}}$	$\frac{CM_{trat}}{CM_{ee}}$
Error	t(r-1)	$SC_{total} - SC_{trat}$	$\frac{SC_{ee}}{gl_{ee}}$	
Total	tr-1	$\sum_{i=1}^t \sum_{j=1}^r y_{ij}^2 - \frac{y^2}{tr}$		

En los siguientes párrafos se utilizarán datos obtenidos a partir de un diseño completamente al azar.

El experimento es el que sigue:

En una plantación forestal se comparó el efecto que tienen cinco tratamientos de preparación del terreno para determinar si dicha preparación tiene algún efecto en la altura de las plantulas de pino. Para este experimento se trabajaron con 25 parcelas aplicando cada tratamiento a cinco parcelas escogidas al azar. En cada una de las parcelas se plantaron igual número de pinos. Después de cinco años se cuantificó el tamaño promedio de los pinos (Tabla III), el cual fue:

Tabla III. Tratamientos<sub>i</sub>

	A	B	C	D	E	
	15	16	13	11	14	
	14	14	12	13	12	
	12	13	11	10	12	
	13	15	12	12	10	
	14	14	10	11	11	
Y	67	72	58	57	59	313
Ŷ	13.4	14.4	11.6	11.4	11.8	12.52

El resumen del análisis de varianza sería el que se muestra en la Tabla IV.

Tabla IV. Resumen del análisis de varianza del crecimiento de árboles sometidos a cinco tratamientos diferentes.

Fuente de variación (FV)	Grados de libertad (gl)	Suma de Cuadrados (SC)	Cuadrados Medios (CM)	Valor de F	P
Tratamientos	4	34.64	8.66	2.87	0.002
Error	20	29.6	1.48		
Total	24	64.24			

Como el valor de  $p < 0.05$  se puede concluir que los tratamientos de preparación sí tienen un efecto en el crecimiento inicial de las plántulas de pino. Pero todavía no se sabe cuáles son los tratamientos que ocasionan esa diferencia. Para identificarlo es necesario realizar un análisis post ANOVA.

Existen varias pruebas de comparaciones múltiples de medias. La necesidad de utilizar pruebas posteriores reside en que no se especificó *a priori* cuáles parámetros son diferentes (porque esa no es la finalidad del ANOVA). En términos directos, con las pruebas *post-hoc* se busca encontrar patrones en las muestras analizadas. Dichas pruebas son:

- Tukey
- Duncan
- Newman-Keuls
- Bonferroni
- Scheffé
- Dunnett

Un tema aparte a este trabajo es definir cuál de todas las pruebas utilizar, cada una de ellas tiene sus propios supuestos y sirve mejor para un tipo de datos y dependen de la manera en que las hipótesis estadísticas están planteadas.

En particular, para este ejemplo no se utilizó ningún grupo control, por lo que no existe un grupo con quien realizar contrastes. La prueba *post-hoc* recomendada para este diseño es la de Tukey, en virtud de que es un contraste simple.

Cabe especificar que la elección de una otra prueba no es circunstancial, se tiene que elegir una tomando en cuenta el conjunto de datos y su diseño experimental asociado, de tal manera que la prueba *post-hoc* elegida sea aquella que reduzca la probabilidad de cometer el error tipo I sin que conlleve una reducción en la potencia de la prueba. Cualquiera de estas pruebas se aplica solamente cuando hay diferencias significativas en la prueba ANOVA.

El proceso matemático para determinar cuáles son los grupos que varían, es un trabajo para los investigadores del área de estadística teórica. En este escrito no se pretende desarrollar dichos cálculos. El interés principal es interpretar los resultados, los cuales pueden obtenerse hoy en día a partir de varios programas estadísticos, como por ejemplo STATISTICA, SAS; SYSTAT, MINITAB, SPSS, S-PLUS, JMP, R, entre otros.

Los resultados presentados aquí fueron realizados en STATISTICA. Para realizar los análisis de ANOVA, en primera instancia, los datos requieren de una variable dummy, ya sea numérica o alfanumérica ej (0, 1 ó A, B) y las variables dependientes (datos). El siguiente paso después de realizar ANOVA implica pedir el siguiente nivel de análisis. Es decir, activar la rutina de los análisis *post-hoc*.

Para este trabajo se presenta los resultados de la prueba TUKEY. En términos generales esta prueba está basada en la suposición (como todas las pruebas *post hoc* antes mencionadas) que se ha elegido para comparación las medias más extremas de un total de K medias. La prueba balancea la ventaja de una selección *post hoc* de las comparaciones más extremas e identifica en donde la diferencia entre las dos medias es mayor al error estándar esperado.

Como se puede observar en la Figura 3, la prueba de TUKEY de la plantación forestal muestra que existen dos grupos que tienen medias similares entre sí. El primer grupo está conformado por las pruebas D, C, E, y A y el otro grupo está compuesto por las pruebas A y B.

### Conclusiones

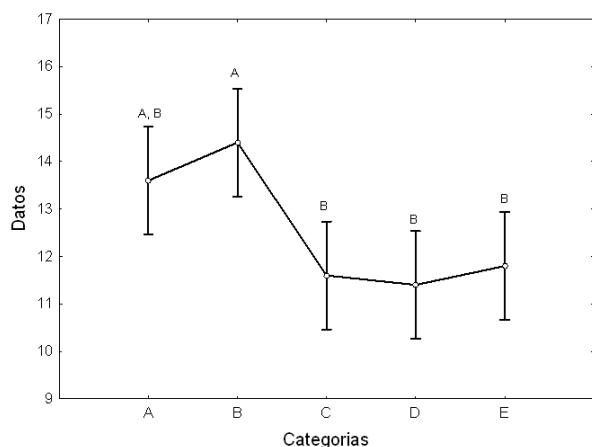
En este trabajo se ha planteado la importancia que tiene el diseño experimental en el trabajo científico y se ha mostrado cómo un buen diseño ayuda a determinar cuál prueba estadística es

la adecuada para el conjunto de datos recopilados. También se han especificado los errores a los que pueden incurrir los investigadores si no hay un buen diseño experimental.

La falta de un diseño experimental puede generar uno de los errores más frecuentes en los experimentos, como es el de la pseudoreplicación, que consiste en la no independencia de los grupos y por lo tanto en la falta de grupos independientes con los cuales realizar las comparaciones.

Se abordaron ejemplos para demostrar cómo un buen diseño experimental facilita el análisis estadístico y a la vez qué y cómo se pueden mostrar los análisis realizados. Por ejemplo, los resultados del análisis de varianza es mejor mostrarlos a manera de tabla que resume los resultados importantes, mientras que una gráfica de los mismos datos sirve para mostrar los resultados de la prueba *post-hoc* y evidenciar cuales grupos varían estadísticamente entre sí.

Hay que tener claro que el mejor diseño propuesto tiene como pilar la formulación de una pregunta de investigación.



**Figura 3.** Tratamientos y altura de pinos; las letras denotan a los grupos que son similares o diferentes. Letras iguales implica que no hay diferencias entre los grupos, letras distintas implica diferencias entre grupos.

## Agradecimientos

Se agradecen los cometarios gramaticales y de contenido realizados a este trabajo por Ricardo Clark Tapia, José Arturo Casasola González y Alejandro Ponce Mendoza. Marco Antonio Camacho escobar ayudó en el formato de este trabajo. Janelle, C. Kolas revisó la gramática en inglés y Aitor Aizpuro elaboró la traducción del resumen al francés.

## Referencias

- Ambrose, H.W. & K. Peckham-Ambrose. 1987. A handbook of biological investigation. 4ed., Hunter Texbooks inc. USA, 264pp.
- Fundibeq. Consultado el 6 de marzo de 2010. Disponible en: [http://www.fundibeq.org/opencms/export/sites/default/PWF/downloads/gallery/methodology/tools/disenode\\_experimentos.pdf](http://www.fundibeq.org/opencms/export/sites/default/PWF/downloads/gallery/methodology/tools/disenode_experimentos.pdf).
- Galindo-Leal, C. 1997. Métodos cuantitativos para el manejo de la diversidad biológica. Manual. Wasai Lodge & Research Center for Conservation Biology, Stanford University, Colegio de Biólogos del Perú, 64pp.
- Hairston, N.G.Sr. 1989. Ecological experiments. Purpose, design and execution. Cambridge University Press, Cambridge, 370pp.
- Krebs, C.J. 1989. Ecological Methodology. Harper & Row. New York, 654pp.
- Lopez-Bautista, E.A. 2008. Diseño y Análisis de Experimentos: Fundamentos y Aplicaciones en Agronomía. Universidad de San Carlos de Guatemala, Facultad de Agronomía. Guatemala, 157pp.
- May, R.M. 1988. How many species are there on Earth? Sci, Wash.. 241: 1441-1449.
- May, R.M. 1990. How many species? Phil. Trans. Roy. Soc. B. 330: 293-304.
- May, R.M. 1992. How many species inhabit the earth? Sci. Am. (October): 18-24.
- Pérez-Tamayo, R. 2008. Acerca de Minerva. Fondo de Cultura Económica, México, 206pp.
- Winer, B. J., D. R. Brown & K.M. Michaels. 1991. Statistical principles in experimental design. McGraw-Hill, New York, USA. 928pp

**Recibido:** 19 de Mayo del 2011

**Aceptado:** 18 de Agosto del 2011